



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

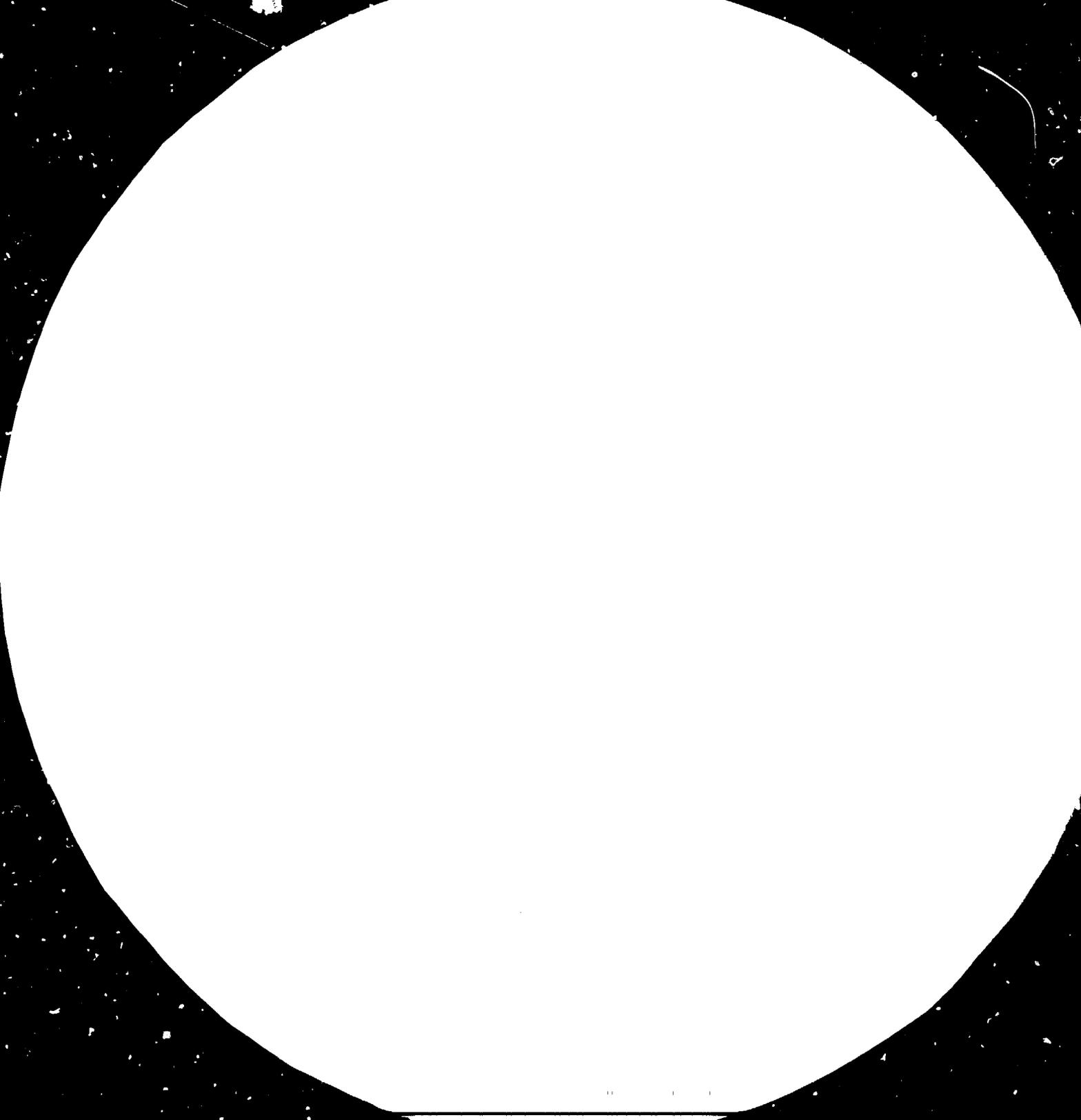
FAIR USE POLICY

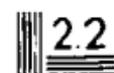
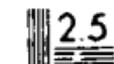
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO) TEST CHART No. 2

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
Vienna

**CRITERES TECHNIQUES
POUR LE CHOIX
DES
MACHINES
A TRAVAILLER LE BOIS**



NATIONS UNIES
New York, 1982

Les appellations employées dans cette publication ainsi que la présentation des données n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays ou territoire ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

La reproduction, en tout ou en partie, du texte de la présente publication est autorisée. L'Organisation souhaiterait qu'en pareil cas il soit fait mention de la source et que lui soit communiqué un exemplaire de l'ouvrage où sera reproduit l'extrait cité.

ID/247

NOTES EXPLICATIVES

Outre les sigles, symboles et unités usuels, la présente publication contient les suivants :

Unités et sigles techniques

APV	acétate de polyvinyle
CPV	chlorure de polyvinyle
CMA	concentration maximale admissible
dB	décibel
kcal	kilocalorie (1 kcal = 4,186 kJ)
kgf/cm ²	kilogramme force par centimètre carré
tr/mn	nombre de tours par minute

Autres sigles

CEE	Commission économique pour l'Europe (de l'Organisation des Nations Unies)
DIN	Deutsche Industrie Norm (République fédérale d'Allemagne)
EUMABOIS	Comité européen des constructeurs de machines à bois
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
NEMA	Association nationale des constructeurs de matériel électrique (Etats-Unis d'Amérique)

Préface

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) a organisé une réunion technique sur le choix des machines à utiliser pour le travail du bois, qui s'est tenue à Vienne en 1973. L'objet de la réunion était d'aider les pays en développement à choisir les machines et l'outillage appropriés dans les divers secteurs de l'industrie du bois. Cette réunion a été suivie, en 1975, de journées d'études sur le travail du bois dans les pays en voie de développement, qui avaient pour objet d'examiner les procédés de fabrication des principaux produits dérivés du bois. Les rapports de ces deux réunions ont été publiés sous les cotes ID/133 et ID/180, respectivement. Les communications présentées portaient les cotes ID/WG.151 et ID/WG.200, respectivement. Une autre communication pertinente, « Méthodologie pour l'achat des machines à bois » (ID/WG.256/26), a été établie pour un séminaire sur l'industrie du meuble et de la menuiserie, tenu à Lahti (Finlande) en 1977.

Les participants à la réunion technique de 1973 ont recommandé que l'ONUDI établisse des manuels techniques et organise des cours de formation à l'intention d'entrepreneurs et de fonctionnaires chargés de l'approbation des investissements dans l'industrie du bois. Pour donner suite à ces recommandations, l'ONUDI a organisé deux stages techniques sur les critères de sélection des machines à travailler le bois, à l'occasion des cinquième et sixième Foires internationales biennales pour les machines et outils à travailler le bois (INTERBIMALL), à Milan (Italie), en mai 1976 et mai 1978. Ces stages ont été organisés en collaboration avec l'Association des constructeurs italiens de machines à travailler le bois (ACIMALL), agissant au nom du Gouvernement italien. Ces stages ont été suivis par 55 industriels et fonctionnaires, ainsi que par des observateurs de pays en développement. Les deux stages ont été financés par des contributions volontaires du Gouvernement italien à l'ONUDI pour les années considérées. Etant donné le vif intérêt suscité par ces stages et, ultérieurement, l'intérêt témoigné par de nombreux pays en développement, l'ONUDI a décidé de publier les communications présentées au stage de mai 1978.

L'une des communications préparées pour la réunion technique de 1973, « Critères pour la réception et l'établissement du niveau technique des machines-outils à travailler le bois par enlèvement de copeaux » (ID/WG.151/25), et la communication susmentionnée pour le séminaire de 1977 avaient été distribuées aux participants au stage de 1978, mais n'avaient pas été discutées. Compte tenu de leur pertinence, il a été décidé de les faire figurer dans la présente publication.

TABLE DES MATIERES

<i>Chapitres</i>	<i>Pages</i>
I. Caractéristiques des bois influant sur le choix de l'outillage et l'utilisation des machines <i>G. Giordano</i>	1
II. Critères pour la réception des machines à travailler le bois et fiches de spécifications <i>V. Radulescu</i>	6
III. Critères généraux pour le choix des machines <i>G. L. De'la Torre</i>	46
IV. Méthodologie pour l'achat des machines à bois <i>Secrétariat de l'ONUDI</i>	76
V. Outillage de machines à bois <i>G. Melloni</i>	96
VI. Installation électrique et autres installations générales dans les établissements de travail du bois <i>A. Mottadelli</i>	118
VII. Choix du matériel pour le travail en forêt <i>X. De Megille</i>	138
VIII. Mécanisation des travaux en forêt <i>M. Caselli</i>	154
IX. Equipement d'une scierie <i>G. Dalla Valle</i>	166
X. Séchage du bois débité <i>R. Cividini</i>	176
XI. Panneaux de bois agglomérés : critères généraux pour la conception des installations et le choix des machines et des outillages <i>M. Bermani</i>	191
XII. Critères pour le choix des machines à faire des placages <i>A. Colombo</i>	236
XIII. Chaînes de fabrication de contre-plaqués et de placages <i>E. Mabini</i>	249
XIV. Choix des installations d'ennoblissement des faces des panneaux en bois <i>F. T. Slodyk</i>	269
XV. Produits et matériels pour la finition des surfaces <i>G. D. Beccaria</i>	297
XVI. Fabrication industrielle de portes, fenêtres et huisseries <i>E. Minarelli</i>	315
XVII. Fabrication de chaises et articles similaires en bois massif <i>A. Speranza</i>	325

<i>Chapitres</i>	<i>Pages</i>
XVIII. Procédés et machines pour la fabrication de meubles à panneaux	
<i>A. Schiavo</i>	333
XIX. Choix de l'équipement d'une parqueterie	
<i>G. Gazzotti</i>	356

I. Caractéristiques des bois influant sur le choix de l'outillage et l'utilisation des machines*

Pour choisir une machine-outil, il faut avant tout considérer les caractéristiques de la matière première à travailler, en l'occurrence le bois. Le bois n'est pas un matériau homogène, aux caractéristiques constantes : nombre de paramètres interviennent pour faire varier sa dureté, la résistance à l'avancement des outils et leur usure, etc. Parmi ces paramètres, les plus importants sont la masse volumique, le pourcentage d'humidité, le sens de la coupe et le diamètre des grumes.

Dans les industries qui travaillent des bois de pays à climat tempéré, le choix des machines peut être fondé sur des conditions de travail bien établies et sur de nombreuses années d'expérience. Par exemple, s'il s'agit de préparer des grumes de conifères pour des travaux de menuiserie, on sait que le bois vert aura une masse volumique comprise entre 700 et 900 kg/m³, une humidité inférieure à 60 % et un diamètre compris entre 25 et 50 cm; ces caractéristiques permettent d'évaluer les divers effets sur les éléments fondamentaux de la scie de tête : type de denture, vitesse d'amenage, vitesse de coupe, puissance nécessaire, etc., c'est-à-dire de faire un choix rationnel. En revanche, s'il faut travailler des essences très diverses, la situation est toute différente. La gamme des variables augmente encore plus dans les pays tropicaux, en raison de la variété de leurs bois et des grandes dimensions des grumes; il faut alors se contenter de paramètres qui ne sont qu'une moyenne approximative des variables en jeu.

De ce fait, les personnes appelées à choisir des machines pour travailler des bois tropicaux doivent parfaitement connaître les caractéristiques des diverses essences qui peuvent influencer sur le débitage, le déroulage, le tranchage et l'usinage, ainsi que sur le séchage artificiel, le collage, le vernissage et le finissage.

Caractéristiques des bois tropicaux

Dimensions des arbres

Nul n'ignore ces merveilles de la nature que sont le séquoia et le sapin de Douglas d'Amérique du Nord ou l'eucalyptus d'Australie, régions de la zone tempérée. Néanmoins, si on considère l'ensemble des arbres exploités dans des pays déterminés, et non pas quelques essences extraordinaires, il faut bien admettre que l'arbre moyen des pays tropicaux est bien plus grand que celui des zones tempérées. En effet, dans les forêts d'Europe ou d'Amérique du Nord exploitées rationnellement, un arbre est jugé avoir atteint sa maturité lorsque son diamètre à hauteur de la poitrine est compris entre 40 et 60 cm; dans certaines conditions, on abat des arbres ayant un diamètre de 12 à 15 cm. Dans les forêts tropicales, en raison du choix que l'on fait des essences de valeur et des grandes difficultés de toutes les opérations d'exploitation, les seuls arbres abattus sont ceux dont on peut obtenir un volume couvrant avec un bénéfice substantiel les frais de coupe, débardage, transport, exploitation du chantier, etc. En définitive, les arbres à considérer sont tous dans la catégorie des gros diamètres : 50 à 60 cm au minimum, 1,5 à 2 m au maximum.

Tandis que dans le passé on débitait les arbres en billes de longueurs réduites, la tendance actuelle est de transporter des pièces aussi longues que possible : l'utilisation de grues fixes ou mobiles, d'élé-

* Par G. Giordano, professeur de technologie du bois et d'exploitation forestière, Université de Florence, Italie.
(Version revue et corrigée du document ID/WG.277/1/Rev.1.)

vateurs à fourche, de camions-grumiers et autres engins puissants élimine toute limitation des poids et dimensions à transporter.

Tensions internes

Très peu de forestiers et d'exploitants du bois sont conscients de l'importance des tensions internes. Elle est pourtant primordiale, étant donné les effets de la libération de ces tensions après l'abattage et les opérations ultérieures. Les phénomènes ainsi causés sont plus fréquents et plus évidents dans les essences tropicales que dans celles des zones tempérées (telles que le hêtre, le chêne, l'eucalyptus et certains peupliers à croissance rapide). Le tableau ci-après donne une liste des essences tropicales les plus communes.

ESSENCES TROPICALES

Région	Nom vulgaire	Nom scientifique
Afrique	Azobé	<i>Lophira alata</i>
	Emien	<i>Alstonia congensis</i>
	Ilomba	<i>Pycnanthus kombo</i>
	Limballi	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>
	Makoré	<i>Mimusops heckelii</i>
	Sipo	<i>Entandrophragma utile</i>
	Acajou d'Afrique	<i>Khaya ivorensis</i>
Asie	Balau	<i>Shorea species spp.</i>
	Bintangor	<i>Calophyllum spp.</i>
	Durian	<i>Neesia spp.</i>
	Geronggang	<i>Cratoxylon arborescens</i>
	Kapong	<i>Tetrameles nudiflora</i>
	Kapur	<i>Dryobalanops spp.</i>
	Keruing	<i>Dipterocarpus</i>
	Lauan	<i>Parashorea spp.</i>
	Mengkulang	<i>Tarrietia spp.</i>
	Meranti	<i>Shorea spp.</i>
	Merawan	<i>Hopea odorata</i>
	Palissandre	<i>Dalbergia spp.</i>
	Sao	<i>Sapotaceae</i>
Seraya	<i>Parashorea stellata</i>	

Dans l'arbre sur pied, les tensions internes se manifestent par une tension à la périphérie du fût et une compression près du centre. Lorsque l'arbre est abattu et tronçonné, toutes ces forces se relâchent; de ce fait, la périphérie tend à se contracter alors que la partie interne tend à se dilater. Le résultat final est l'apparition de plusieurs fentes en pied de poule à partir de la moëlle. Il arrive souvent que ces fentes atteignent la périphérie et divisent véritablement la grume en quatre ou cinq secteurs indépendants dont on ne peut plus tirer aucun profit. Même si l'on ne constate pas de fentes aussi importantes au moment du sciage, les planches ressentent les tensions à leurs extrémités et s'ouvrent ou subissent un gauchissement très sensible. Les tensions internes sont souvent accompagnées, dans les essences tropicales, de ce que l'on appelle le cœur mou, zone centrale dépourvue de tout tissu fibreux et donc à moindre résistance mécanique; tout le long du cœur mou, on peut constater dans la partie interne du bois une succession de fractures transversales. Il est évident qu'un tel bois ne trouve aucune utilisation en construction ou en menuiserie.

Extraits et inclusions

Pour tous les bois, les composants des parois cellulaires : cellulose, lignine et hémicellulose, sont identiques et diffèrent seulement par leurs pourcentages. Il est d'autres constituants du bois; en effet, dans les tissus ligneux, on trouve deux autres catégories de substances déposées par le suc cellulaire; la

première est celle des substances solubles ou « extraits », la deuxième est celle des corps insolubles ou « inclusions ». Les extraits varient d'une essence à l'autre et déterminent des caractéristiques spécifiques.

Chez beaucoup d'essences tropicales, notamment celles à coloration foncée, le taux d'extraits est élevé; ces extraits (tanin, par exemple) peuvent accroître la résistance du bois aux attaques biologiques et avoir ainsi une utilité indéniable; en revanche, d'autres extraits, tout comme les inclusions, peuvent attaquer l'acier des outils et la tôle des séchoirs, tacher le bois humide ou causer des accidents toxiques aux personnes exposées aux poussières qui se dégagent pendant l'usinage et le finissage.

Une certaine teneur en résine de gomme ou en substance poisseuse peut rendre difficile le sciage et le toupillage, à cause des incrustations qui se forment sur les outils; ce défaut n'est pas propre aux bois tropicaux, mais il peut sérieusement entraver le travail de certaines essences. Cependant, le problème le plus sérieux est posé par la présence dans les tissus ligneux de substances minérales insolubles et de grande dureté. Ces substances (il s'agit normalement de phosphates, de carbonates ou de silicates) peuvent former des agglomérats ayant l'aspect de cailloux irréguliers, gros parfois comme le poing, dispersés dans le bois (cas de l'iroko et de certains merantis) ou remplissant des fentes et fractures internes dans le fût (cas du doussié). Ces véritables concrétions provoquent inévitablement la rupture des lames des scies et des couteaux des outils.

Au lieu de s'agréger en masse ayant un certain volume, les substances insolubles peuvent être dispersées en cristaux ou granules de petit diamètre (0,02 à 0,05 mm) à l'intérieur des cavités cellulaires; les tissus ligneux apparaissent tout à fait normaux, mais au moment du sciage on constate une résistance plus forte et une usure des dents plus accusée et plus rapide qu'avec des bois normaux. Même si ces cristaux et granules ne sont pas toujours composés exclusivement de silice, on appelle ces bois « siliceux ».

Les exploitants forestiers et les scieurs craignent beaucoup ces bois, car leur sciage et leur usinage sont pénibles et coûteux. Les bois tropicaux présentant ce défaut sont nombreux; on peut citer notamment : akato, makoré, azobé, movingui, mukulungu, aiclé, a'jurana, certains lauans, meranti, geronggang, kapur, keruing, mengkulang, mersawa, etc. Il convient de souligner que la présence de certaines substances toxiques dans les extraits peut être dangereuse pour la santé des ouvriers; c'est le cas, notamment, du beté. Ceci n'a évidemment rien à voir avec la puissance ou le type de machines à choisir, mais exige que l'on étudie avec un soin particulier les systèmes d'aspiration et d'évacuation des sciures et des poussières.

Particularités de structure

Dans les bois tropicaux, bien plus fréquemment que dans les bois des zones tempérées, la direction des fibres n'est pas orientée parallèlement à l'axe des grumes. Il en résulte un contrefil accusé qui rend difficiles le sciage, le rabotage et le ponçage; en revanche, s'il est réparti en bandes parallèles étroites ou suit certaines dispositions, ce contrefil peut rehausser la valeur des bois décoratifs. C'est le cas notamment du sapelli, du sipo, de l'acajou d'Amérique, de l'afromosia, du lauan rouge etc.

Phases du travail du bois

Manutention des grumes dans le parc à bois

Les engins de soulèvement et de transport doivent être puissants et avoir une grande souplesse d'emploi. Si le stockage des grumes ne peut pas être fait dans un bassin d'eau, il faut prévoir un parc à bois pour une meilleure manutention des grumes. Les grumes sont triées et empilées; un système approprié d'arrosage évite le fendillement du bois, ainsi que les dégâts dus aux insectes et aux champignons. De plus, le système d'arrosage est une protection contre l'incendie en période de temps très chaud et très sec.

Le parc à grumes doit avoir une dotation appropriée de tronçonneuses. Actuellement, on utilise généralement des scies à chaîne, facilement transportables à la main ou montées sur chariot très bas. Il faut également disposer de brosses métalliques et de lances à eau pour nettoyer soigneusement les billes avant de les amener à la scie. Dans les régions où l'on peut craindre la présence d'éclats métalliques dans les grumes (zones de combat ou de guérilla), il est recommandé de prévoir également des

détecteurs électromagnétiques, du type utilisé pour repérer les mines enfouies dans le sol. Ces questions sont traitées plus en détail dans les chapitres V, VI et IX.

Sciage

Avant de choisir la scie de tête, il faut établir un plan précis du travail à exécuter, notamment quant aux essences à travailler et au diamètre maximum des grumes (le diamètre moyen ne joue ici qu'un rôle secondaire). Il importe au premier chef de savoir s'il s'agira d'une seule essence ou de plusieurs, ayant des caractéristiques différentes. Enfin, il importe de connaître les spécifications du produit fini (planches, poutres avivées, traverses de chemin de fer, etc.).

Bien qu'il ne soit pas question de traiter dans le présent article des diverses techniques de sciage, par exemple des vitesses d'amenage, des types de denture, etc., il convient d'évoquer le problème des tensions internes. A cet égard, il faut étudier quelle est la plus avantageuse des trois solutions suivantes:

- a) Sciage sur dosse, laissant les planches s'ouvrir librement au milieu par suite de la libération des tensions internes;
- b) Utilisation d'une scie à cadre à deux lames, pour éliminer quatre coursons en deux passages, la bille ainsi obtenue passant ensuite à la scie multilames;
- c) Sciage au ruban, sur dosse, après passage sur deux petites scies circulaires destinées à éliminer comme délignures les parties latérales des grumes où s'exerce le maximum de la contraction.

• Les scies circulaires, orthogonales par rapport au plan de sciage avec la scie à ruban, peuvent être utiles également pour éliminer le cœur mou, le cas échéant.

Si le bois à débiter a une forte teneur en résine, il est bon d'installer sur le bâti de la scie un gicleur envoyant sur la lame un liquide capable de dissoudre les incrustations. Enfin, il est vivement recommandé de prévoir un dispositif (brosses métalliques ou autres) pour enlever complètement la sciure adhérent à la section de coupe.

Pour la coupe transversale des grumes ou le délignage des planches, il convient d'utiliser des scies circulaires dont les dents doivent être étudiées quant à la forme et à l'avoyage. La tendance actuelle est d'utiliser des dents amovibles à plaquettes de carbure de tungstène, surtout pour le sciage de bois durs ou abrasifs du fait de la présence de particules minérales.

Dans les ateliers où l'on travaille des bois contenant des extraits toxiques ou dangereux pour les ouvriers, il faut étudier avec soin le système d'aspiration des sciures et des poussières. En outre, les ouvriers devront porter un masque et des gants appropriés.

Il est également important d'établir avec soin le schéma de circulation des bois dans la scierie, afin de choisir le matériel de transport approprié, aussi bien pour le bois scié que pour les divers déchets qui devront être stockés. Ces questions sont traitées de manière plus détaillée dans les chapitres V et IX.

Déroulage et tranchage

Les dimensions des billes déterminent la puissance et la taille des appareils de levage pour les dérouleuses et les trancheuses. Par contre, ce sont les dimensions des produits finis qui déterminent les spécifications des massicots, des séchoirs, des encolleuses, des presses et des ponceuses.

Compte tenu de la possibilité de trouver des bois à cœur mou, les dérouleuses doivent être conçues pour pouvoir recevoir des griffes de diamètres divers.

De même, les cuves d'étuvage doivent pouvoir être adaptées à n'importe quelle qualité de bois, tant du point de vue de la température de la vapeur que de celui de la durée du traitement. Il est très difficile d'énoncer une règle générale pour des essences insuffisamment connues; il vaut mieux réunir des données concrètes, en faisant des expériences répétées, pour déterminer les paramètres d'étuvage. Ces questions sont étudiées en détail au chapitre XII.

Usinage (toupillage, tenonnage, perçage, défonçage)

La facilité de ces opérations est étroitement liée à la densité du bois, à la droiture du fil, à la teneur en résine et à la présence d'inclusions siliceuses. Ces divers facteurs n'affectent pas la conception même

des machines, mais ils sont déterminants pour fixer les angles d'attaque et d'affûtage et pour choisir les caractéristiques de l'acier des couteaux.

Dans une grande usine de contre-plaqué, la récupération et l'utilisation des déchets (feuilles de mise au rond et rondins de cœur) présentent une grande importance technique et économique. Il est donc recommandé d'y accorder une attention toute particulière dès l'établissement du projet de production. Ces questions sont traitées en détail aux chapitres V, XI et XII, notamment.

Collage, vernissage et finissage

L'outillage nécessaire est utilisable aussi bien pour les bois tropicaux que pour les bois des zones tempérées. La seule différence est que pour des bois huileux ou gras, tels que l'iroko ou le teck, il faudra prévoir dans la chaîne de production une phase préliminaire destinée à éliminer les substances qui rendent difficile l'adhérence des colles et des vernis. Le finissage fait l'objet du chapitre XV.

Séchoirs

Etant donné que le chapitre X traite du séchage du bois, on ne traitera pas ici du choix des séchoirs. Cependant, il convient de mentionner que, sous l'action de la vapeur et de la chaleur, certains bois tropicaux riches en extraits peuvent dégager des substances très corrosives pour les tôles, les tuyauteries et tout l'appareillage dans son ensemble. C'est là un élément dont il faut tenir le plus grand compte dans le choix de séchoirs à air chaud.

II. Critères pour la réception des machines à travailler le bois et fiches de spécifications*

Introduction

La réception des machines-outils comporte un ensemble de vérifications permettant de déterminer si elles correspondent au domaine d'utilisation auquel elles sont destinées et, par conséquent, si l'on peut ou non les mettre à service. Le développement de l'usinage du bois et l'utilisation d'une gamme de machines-outils toujours plus complexes ont rendu nécessaire l'adoption de critères, présentés sous forme de normes unitaires de réception, acceptés de commun accord par les constructeurs et les utilisateurs de machines-outils.

Ces normes, établies de manière rationnelle, sont destinées à grouper les machines-outils pour travailler le bois dans des classes de précision suivant les opérations qu'elles exécutent. Ces normes doivent être respectées dans les relations entre fournisseurs et acheteurs. Les vérifications prévues dans les normes qui réglementent la réception des machines-outils sont les suivantes :

- Vérification de la machine à l'arrêt, c'est-à-dire vérification de la précision des organes, de leurs positions relatives et de leur déplacement;
- Vérification de la machine en marche à vide et à pleine charge; cette vérification comprend le contrôle de la rigidité, de la production et du rendement;
- Vérification des pièces usinées sur la machine (du point de vue de la précision d'usinage et de la qualité des surfaces obtenues); cette vérification peut être faite en même temps que celle de la machine pendant la marche à pleine charge.

On considère également que l'acheteur doit connaître le niveau de la technique la plus moderne pour chacun des principaux groupes de machines à travailler le bois, afin de pouvoir apprécier le niveau technique de la machine qui l'intéresse.

A cet effet, il faut connaître les principaux paramètres de la machine et leurs valeurs par rapport au niveau de la technique la plus moderne.

L'objet de ce chapitre est de présenter :

- a) Des critères de réception des machines-outils à travailler le bois par enlèvement de copeaux, qui constituent en fait la majorité des machines utilisées dans l'usinage du bois. Ces machines sont énumérées dans l'annexe I.
- b) Des fiches de spécifications pour des types de machines représentatives d'une même catégorie.

Les valeurs présentées dans ce chapitre, qui se réfèrent généralement aux tolérances, s'inscrivent dans les valeurs des normes et standards en vigueur dans les pays où l'industrie du bois et la fabrication de machines-outils connaissent un grand développement.

Il a semblé utile de présenter tout d'abord quelques notions théoriques fondamentales, concernant la précision du travail, les erreurs possibles lors de l'usinage du bois et les sources de ces erreurs, ainsi que les indicateurs de la précision géométrique.

* Par V. Radulescu, ingénieur-conseil à l'Institut de recherches et projets pour l'industrialisation du bois (ICPIL), Bucarest (Roumanie). (Version revue et corrigée du document ID/WG.151/25, publié initialement le 29 octobre 1973.) Les normes proposées sont des recommandations de l'auteur, qui n'ont pas reçu une acceptation générale.

Généralités

Notions fondamentales concernant la précision d'usinage du bois

Par précision d'usinage, on entend la correspondance entre les dimensions et les formes des pièces usinées sur les machines-outils et les dimensions nominales et les formes notées sur les dessins pour ces pièces, aux cotes et tolérances indiquées.

A la suite de l'usinage, on constate des écarts par rapport aux dimensions nominales; les causes en sont multiples.

Si les dimensions des pièces sont supérieures au maximum admissible, les assemblages prévus ne peuvent être réalisés qu'après ajustage. Si les dimensions sont inférieures au minimum admissible, il est impossible de procéder à un ajustage et les pièces doivent être mises au rebut.

Dans l'industrie moderne d'usinage du bois, on cherche à obtenir, par la précision du travail, l'interchangeabilité des pièces usinées en série.

Dans ce contexte, l'interchangeabilité signifie la possibilité de remplacer dans un ensemble de produits finis n'importe quelle pièce par une autre pièce similaire, sans avoir besoin de procéder à des ajustages, à condition que l'assemblage satisfasse aux spécifications imposées. Dans ces conditions, il s'en suit clairement que l'interchangeabilité exige, au premier chef, une haute précision de travail, comprise entre des tolérances rigoureusement établies par des normes.

Erreurs dans l'usinage du bois et leurs sources

Comme on le verra plus loin, les erreurs dans l'usinage du bois et leurs sources ne peuvent pas être attribuées uniquement aux machines-outils. Il faut noter, tout d'abord, que ces erreurs ont trait à la forme géométrique et aux dimensions. Les erreurs de forme présentent une grande importance pratique pour les pièces de grandes dimensions. Pour ce qui est des erreurs dimensionnelles, il faut noter que chaque dimension doit être mesurée en partant d'une surface usinée qui constitue la base technologique.

Selon leur nature, les erreurs d'usinage peuvent être groupées en deux grandes catégories : erreurs systématiques et erreurs accidentelles.

Les sources des erreurs systématiques sont les suivantes :

- Réglage erroné;
- Erreurs géométriques de la machine;
- Erreurs géométriques des dispositifs;
- Déformations élastiques de la machine;
- Déformations thermiques de la machine et de l'outil.

Les sources des erreurs accidentelles sont les suivantes :

- Non-homogénéité des propriétés mécaniques du bois;
- Erreurs dans le choix de la base technologique;
- Tensions internes du matériau;
- Mesures erronées;
- Variations du taux d'humidité du bois.

Les sources des erreurs de dimensions et de forme géométrique peuvent être les suivantes :

- La machine-outil (manque de précision géométrique);
- L'outil (manque de précision géométrique, détériorations, déformations);
- Les dispositifs de travail (déformations, usure, etc.);
- Les caractéristiques physico-mécaniques de la pièce à usiner;
- Les opérateurs (mauvais réglages, mesures erronées).

Précision d'exécution (géométrique) et d'usinage des machines à travailler le bois

Généralités

Le but d'un usinage de précision sur des machines-outils est d'éviter les opérations ultérieures de retouche ou d'ajustage lors du montage. Ce but sera atteint uniquement par l'utilisation machines-

outils construites avec une grande précision, leur permettant d'exécuter des pièces ayant des dimensions dont les écarts s'inscrivent dans les limites admises par le système d'ajustage et de tolérances établi, assurant ainsi l'interchangeabilité des pièces.

La vérification du degré de précision de l'usinage comprend la vérification de la précision géométrique de la machine et celle de sa précision de travail, les tests à cet égard devant être effectués et certifiés par le fournisseur.

A la différence des machines-outils à travailler les métaux, celles à travailler le bois se caractérisent par de grandes vitesses d'amenage et d'enlèvement des copeaux, ce qui se traduit par un nombre élevé de tours/minute des arbres et des axes des mécanismes d'avance et de coupe.

Il s'ensuit que dans la construction des machines à travailler le bois, il faut prendre des mesures particulières pour éliminer les vibrations et assurer la rigidité nécessaire à cet effet. Par exemple, il faut équilibrer la dynamique des ensembles rotatifs, établir les dimensions appropriées pour les bâtis, etc., opérations entraînant des prix plus élevés et des cycles de fabrication plus importants.

Précision géométrique des machines-outils

La mesure de la précision géométrique des machines-outils réside dans le contrôle des dimensions et des déplacements relatifs des différents organes principaux lorsque la machine est à l'arrêt.

Pour faire ces vérifications, il faut établir tout d'abord les conditions principales dont il faudra tenir compte lors de la vérification afin que l'interprétation des résultats donne une image exacte de la qualité de la nouvelle machine, puis déterminer de manière rationnelle les essais à effectuer et les paramètres à vérifier.

Outre la vérification de la précision géométrique, les machines doivent être soumises à des épreuves de marche à vide, puis de marche à pleine charge au cours desquelles on vérifiera la précision d'usinage.

Pour assurer des conditions objectives de vérification, il faut réaliser au préalable des conditions de base, telles que :

a) Installation de la machine sur une fondation appropriée en vue d'obtenir l'horizontalité au degré de précision indiqué par la norme appropriée. Pour les machines-outils à table de travail, le contrôle de l'installation consiste dans la vérification, dans les sens longitudinal et transversal, du parallélisme de la table avec un plan horizontal. A cet effet, on utilise un niveau à bulle ayant une sensibilité comprise entre 0,02 et 0,04 mm par mètre.

b) Utilisation pour les vérifications d'appareils de mesure dont les écarts propres (dus à la précision de leur construction) ne dépassent pas le tiers de l'écart à vérifier. La précision des appareils de mesure est généralement spécifiée par des normes et standards.

Indicateurs de la précision géométrique des machines-outils

La notion de précision géométrique des machines-outils porte sur les caractéristiques suivantes : rectitude, planéité, coaxialité, parallélisme, équidistance, coïncidence, perpendicularité, faux-ronds, battements axiaux et frontaux.

Les valeurs géométriques de rectitude comprennent la rectitude d'une ligne dans deux plans, d'un organe (guidage) ou d'un déplacement. On considère qu'une ligne est droite sur une longueur donnée si la variation des distances entre la ligne et deux plans parallèles à sa direction générale se maintient au-dessous d'une valeur fixée. Par rectitude du déplacement d'un organe, on entend le parallélisme entre la trajectoire d'un point de l'organe et une droite de référence parallèle à la direction générale du déplacement. Il faut noter que la vérification de la rectitude des déplacements se réduit à des vérifications de parallélisme ou de perpendicularité, et qu'elle porte sur le déplacement d'un axe dans le sens longitudinal, le déplacement d'une surface plane dans son plan, etc.

On considère qu'une surface est plane sur une portion donnée si la variation des distances entre des points de cette surface et un plan géométrique parallèle à la direction générale de la surface se maintient au-dessous d'une valeur fixée. Le plan géométrique de référence doit se trouver en dehors de la surface soumise à la vérification; il peut être matérialisé par un panneau de contrôle, par exemple. On vérifie en général la planéité des tables de travail et des socles des machines.

Par coaxialité, on entend que deux ou plusieurs organes, déterminés par des surfaces de révolution, ont un axe géométrique commun. Lors de la réception d'une machine-outil dont on vérifie la coaxialité, on considère que deux axes sont coaxiaux si la variation des distances entre plusieurs points de ces axes

sur une portion donnée se maintient au-dessous de la valeur fixée. Les éléments des machines dont on vérifie la coaxialité sont les suivantes : axes, arbres, manchons, coussinets.

Les vérifications géométriques du parallélisme et de l'équidistance portent sur le parallélisme des lignes et des plans, sur le parallélisme des déplacements et sur leur équidistance. On considère qu'une ligne est parallèle à un plan si l'écart maximum de la distance entre les différents points de la ligne et le plan ne dépassent pas une valeur fixée pour une certaine longueur de mesure. Deux lignes sont parallèles si l'une d'elles est parallèle à un plan contenant l'autre ligne. Deux plans sont parallèles si l'écart maximum de la distance entre ces plans ne dépasse pas une valeur fixée.

Par parallélisme des déplacements, on entend la position de la trajectoire d'un organe mobile de la machine par rapport à un plan, une droite ou une trajectoire d'un point d'un autre organe mobile de cette machine. Lors de la vérification du parallélisme, il convient que l'appareil de mesure soit fixé sur l'organe mobile. La notion d'équidistance se réfère à la distance entre certains axes et certains plans de référence.

La vérification de la perpendicularité porte, d'une part, sur la position réciproque des plans et des axes, ou des axes par rapport aux plans et, d'autre part, sur la perpendicularité des déplacements. En principe, la vérification de la perpendicularité se réduit à la vérification du parallélisme, à l'aide d'une équerre étalon. Les déplacements perpendiculaires peuvent être les déplacements d'un organe sur un plan donné, sur un axe ou sur la trajectoire d'un autre organe mobile de la machine. Pour vérifier la perpendicularité d'une trajectoire sur un axe, celui-ci sera matérialisé à l'aide d'un barreau sur lequel on place une équerre, dont le côté libre servira à vérifier le déplacement.

Les vérifications géométriques de la rotation comprennent le battement radial (faux-rond) et le battement axial. Le battement radial est caractérisé par des écarts par rapport à la forme circulaire d'une pièce, dans un plan perpendiculaire à l'axe de la pièce. Dans le cas d'un arbre, la valeur de l'écart est donnée par la différence entre le diamètre du cercle circonscrit et le diamètre minimum mesurable de l'arbre dans le plan considéré. Dans le cas d'un alésage, l'écart par rapport à la forme est donné par la différence entre le cercle inscrit et le diamètre maximum mesurable de l'alésage dans le plan considéré. L'excentricité d'un axe, en un point de cet axe, est la distance entre les projections de l'axe géométrique et l'axe de rotation de la pièce dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Le battement axial est le mouvement alternatif périodique, dans la direction de l'axe d'un organe en rotation, dû à un défaut de construction de cet organe. Le battement axial ne doit pas être confondu avec le jeu axial. Pour mesurer correctement le battement axial, l'axe à vérifier doit être poussé dans une seule direction, afin d'éliminer le jeu axial dans le palier.

Normes générales de la précision géométrique des machines et classes de précision

Les classes de précision, dans l'usinage du bois à l'aide de machines caractérisées par la précision d'exécution des opérations avec réglage unique de la machine, représentent une caractéristique fondamentale du fonctionnement des machines et servent de base de détermination dans le système de tolérances et d'ajustages. En d'autres termes, les classes de précision de l'usinage correspondent aux classes de précision adoptées dans le système de tolérances et d'ajustages.

Les erreurs géométriques des machines se caractérisent par les erreurs dans chacun des éléments, les erreurs d'emplacement relatif des éléments et les erreurs dans leur déplacement.

La rigidité de la machine et le jeu des arbres et des pièces en mouvement sont les facteurs dont l'influence est essentielle, car ils provoquent des erreurs d'usinage proportionnelles au jeu dans les joints.

Le degré de précision géométrique des machines-outils pour l'usinage du bois dépend du degré de précision des machines-outils à travailler les métaux grâce auquel elles ont été fabriquées.

Le champ de tolérance dans l'exécution des différents travaux pour assurer la réalisation des joints et l'interchangeabilité des pièces sert de base pour l'établissement des normes générales de précision géométrique. De même, dans l'établissement des normes générales de précision géométrique, il faut prendre en considération les conditions technologiques et les conditions d'exploitation imposées dans le domaine d'utilisation, ainsi que par le coût et la complexité des machines en fonction de la classe de précision exigée.

Compte tenu de ces facteurs, les machines à travailler le bois par enlèvement de copeaux peuvent être groupées en trois classes de précision, à savoir :

a) Machines-outils de première classe, utilisées essentiellement pour des travaux de finissage : machines à fraiser pour copier, ponceuses (à cylindres, à bandes larges, à contact), etc.;

b) Machines-outils de deuxième classe, constituant la classe de base et comprenant la plupart des machines : machines à raboter, à moulurer, à fraiser, etc.;

c) Machines-outils de troisième classe, utilisées pour des travaux de débitage suivis d'autres opérations d'usinage : scies alternatives verticales, scies à ruban, scies à grumes, scies circulaires à déligner, etc.

Les normes générales de tolérances (écarts admis) pour les vérifications de base des machines découlent de cette classification; leurs valeurs sont données dans l'annexe II.

Les standards et normes en vigueur dans divers pays pour les machines-outils à travailler le bois reposent en général sur cette classification.

Conditions de vérification des machines

Conditions générales

Pour les essais et les vérifications dans l'usine de fabrication, la machine sera installée sur une fondation appropriée.

Après installation de la machine sur cette fondation, on vérifie son horizontalité en prenant comme plan de référence une surface usinée de la machine. La tolérance d'horizontalité est de 0,2 mm/1 000 mm. On obtient l'horizontalité en introduisant des coins de réglage entre les parties de la machine qui reposent sur le socle et ce dernier. Les dispositifs (coins) utilisés pour obtenir l'horizontalité de la machine seront introduits uniquement aux points indiqués par le fabricant de la machine.

Horizontalité de la machine

L'horizontalité est vérifiée en des points approximativement équidistants (300-400 mm) dans les sens longitudinal et transversal, à l'aide d'un niveau à bulle (voir « Précisions géométriques des machines-outils »). Pour obtenir l'horizontalité, on utilisera exclusivement les dispositifs fournis par le fabricant de la machine.

Rigidité de la machine

Par rigidité de l'ensemble « machine-outil-pièce », on entend le rapport entre les forces qui, dans le processus de fonctionnement de la machine, agissent sur les guidages et sur les organes soutenant les outils de coupe, orientés dans la direction normale par rapport à la surface usinée et la déformation totale de ces organes, mesurés dans la même direction. Les déformations de cet ensemble entraînent la modification des dimensions d'usinage, c'est-à-dire des erreurs. La déformation est proportionnelle à la puissance nécessaire à la coupe et inversement proportionnelle à la vitesse périphérique. Les essais de rigidité s'effectuent suivant deux méthodes : statique et dynamique.

La méthode statique consiste dans le chargement des sous-ensembles de la machine avec des charges statiques.

La méthode dynamique consiste dans le chargement des sous-ensembles de la machine avec des charges étalons des forces de coupe.

L'essai statique de rigidité est effectué à l'aide d'un dynamomètre de distances, les déformations étant enregistrées à l'aide d'un comparateur. La charge limite est choisie par rapport à la valeur de la force normale maximale qui peut apparaître dans le cas du fonctionnement dans les conditions les plus défavorables.

Conditions de vérification de la précision géométrique

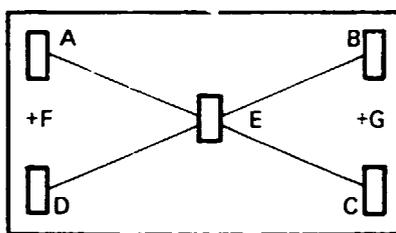
Les méthodes les plus usuelles de vérification de la précision géométrique et de la précision d'usinage sont présentées ci-après, en indiquant les moyens de vérification et les tolérances pour chaque type de machine.

Vérification de la planéité

La planéité peut être vérifiée à l'aide de la règle ou du niveau.

Vérification à l'aide de la règle (figure 1). On choisit trois positions, A, B et C, sur la surface à vérifier et on les considère comme points de cote zéro. On y place trois cales égales et parallèles. Le plan déterminé par leurs faces supérieures constitue le plan de référence, auquel sera comparée la surface à vérifier. On choisit une quatrième position, D, dans le plan de référence et l'on procède ensuite de la manière suivante : on place la règle de vérification sur les points A et C, puis on met sous la règle, au point E, une cale réglable en hauteur dont la face supérieure est mise en contact avec la face inférieure de la règle.

Figure 1. Vérification à l'aide de la règle



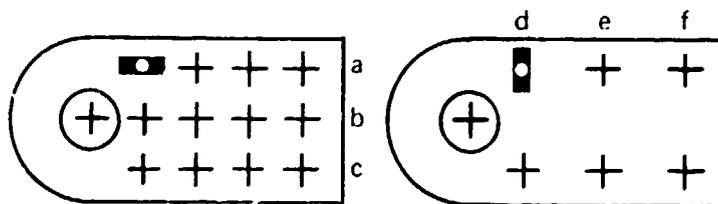
Les points A, B, C et E se trouvent tous dans le même plan. On pose ensuite la règle sur les points B et E, puis on place au point D une cale réglable que l'on ajuste comme on l'a fait pour le point E. Il s'ensuit que les faces supérieures des cales aux points A, B, C, D et E sont toutes dans le même plan. En plaçant la règle, successivement, sur A et B, B et C, C et D, puis D et A, on peut relever les cotes intermédiaires en n'importe quel point, compte tenu de la flèche de la règle.

On peut ainsi vérifier la planéité de la surface tout au long des côtés du quadrilatère ABCD.

On peut faire les mesures à l'aide d'un comparateur que l'on déplace sur la règle de vérification, ou bien à l'aide de cales planes parallèles et d'un espion.

Vérification à l'aide du niveau à bulle (figure 2). Elle se fait par rapport au plan horizontal. On place le niveau, dans le sens longitudinal, aux points a, b et c, situés à 300-500 mm l'un de l'autre; on le place ensuite, dans le sens transversal, aux points d, e et f. Il suffit de lire les indications du niveau.

Figure 2. Vérification à l'aide du niveau à bulle placé tout d'abord aux points a, b et c

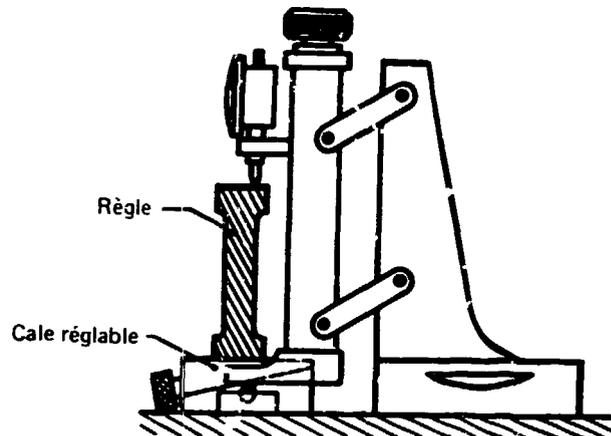


Vérification de la rectitude

Cette vérification concerne la rectitude d'une ligne dans deux plans, celle d'un organe ou celle d'un déplacement (voir « Indicateurs de la précision géométrique des machines-outils »).

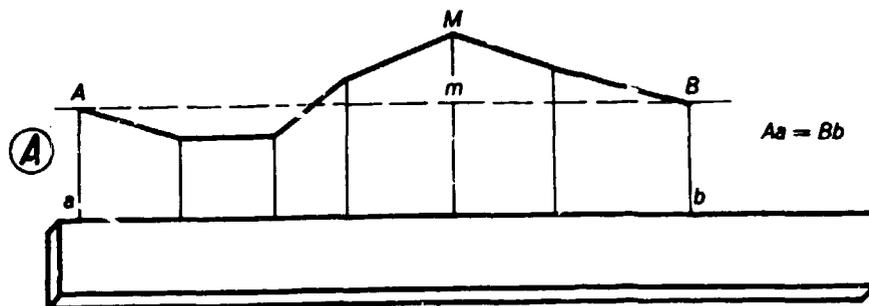
Rectitude d'une ligne dans deux plans. Pour des longueurs de moins de 1 500-1 600 mm (cas général), la vérification s'effectue à l'aide de la règle et du niveau. Pour des longueurs plus grandes, on utilise des appareils optiques. Dans le cas général où on utilise la règle, celle-ci est placée sur deux cales posées aux points correspondant à la flèche minimum de la règle. On déplace le long de la règle un bras qui touche en un point la surface à mesurer. Ce bras est muni d'un comparateur dont le palpeur touche la face supérieure de la règle (figure 3).

Figure 3. Vérification d'une ligne dans deux plans. On utilise une règle, un niveau à bulle et un comparateur. (On a rarement recours à ce dispositif pour les machines à travailler le bois.)



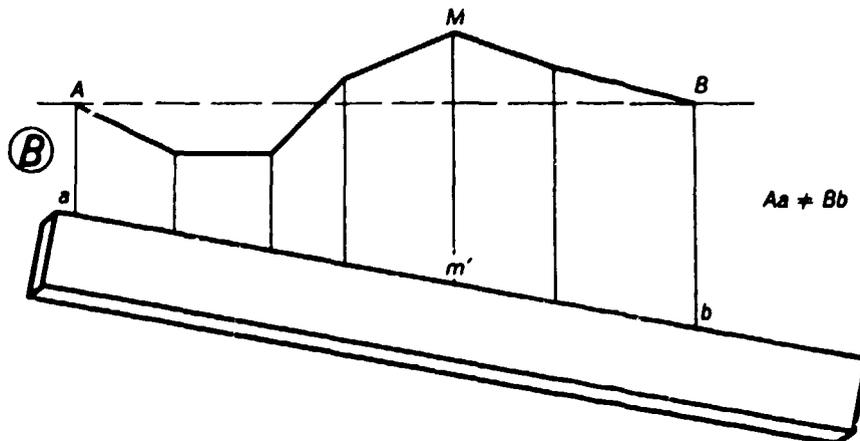
La règle est posée sur des cales réglables, de manière qu'on lise sur le comparateur des valeurs identiques aux deux extrémités de la règle. De cette manière (figure 4), les distances entre les différents points de la ligne AMB et la droite AB, qui relie les extrémités de la règle, peuvent être lues directement.

Figure 4. Exemple des résultats d'une vérification de rectitude. Dans le cas présent, on lit des mesures identiques aux deux extrémités de la règle



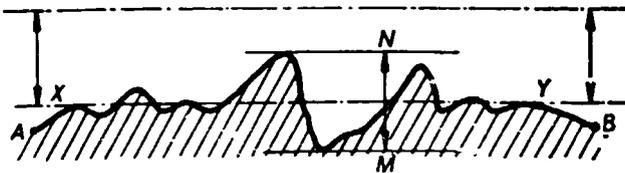
On peut également faire la même vérification sans chercher à avoir des mesures identiques aux deux extrémités de la règle. Il faut alors construire un graphique pour s'assurer que les diverses distances mesurées restent inférieures aux tolérances admises (figure 5).

Figure 5. Autre exemple de vérification de la rectitude. Dans ce cas, les mesures aux extrémités de la règle ne sont pas identiques



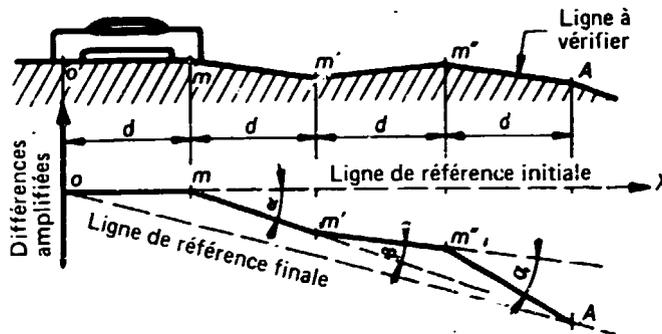
Si on utilise le niveau à bulle, le plan de référence est le plan horizontal déterminé par le niveau. On fait les mesures par segments de droite successifs (figure 6). Dans le diagramme des valeurs mesurées, on trace la direction générale de la ligne AB qui a été mesurée. Les distances MN mesurées perpendiculairement à cette direction ne doivent pas dépasser la tolérance indiquée.

Figure 6. Si on utilise un niveau à bulle, le plan de référence est le plan horizontal. La ligne xy est une ligne de référence



Dans le cas d'une ligne horizontale (figure 7), la droite de référence initiale est la ligne omx, où les points o et m sont deux points sur la ligne devant être vérifiée.

Figure 7. Vérification de la rectitude d'une ligne horizontale



Le niveau est placé successivement sur les segments om, mm', m'm'', etc. Les distances om, mm', etc., sont égales; leur valeur, d, est établie en fonction de la longueur totale OA sur laquelle on effectue les mesures (habituellement, d est compris entre 100 et 500 mm).

Les indications du niveau dans les segments mm', m'm'', etc., sont comparées à ses indications dans le segment initial om.

Si le niveau est muni d'un système de réglage, la bulle peut être amenée à zéro dans la position initiale; on peut alors procéder à la lecture directe de la position relative des segments mm', m'm'', etc., par rapport à omx. On fait ensuite les mesures dans le sens inverse, c'est-à-dire de A vers O, aux mêmes points, et on établit la moyenne des résultats.

On peut alors tracer le profil om, mm', m'' A.

En ce qui concerne la rectitude d'une ligne, la tolérance est l'écart maximum admissible entre les points de la ligne et une droite de référence qui réunit ses extrémités (figure 6 : ligne xy).

Rectitude d'un organe. Cette vérification concerne surtout les guidages des machines-outils. Les guidages plans sont vérifiés à l'aide de la règle, comme les lignes. Les guidages à profil en forme de V sont vérifiés à l'aide d'un niveau placé sur un cylindre ou sur une pièce intermédiaire adaptée à la forme géométrique du guidage (figure 8).

Rectitude d'un déplacement. Les déplacements rectilignes sont ceux d'un axe dans le sens de sa longueur. La vérification de la rectitude d'un déplacement se ramène à la vérification du parallélisme ou de la perpendicularité; elle peut être faite à l'aide d'un comparateur à cadran et d'une règle (figure 9).

Le comparateur est fixé sur l'organe mobile de manière que le païpeur glisse le long d'une règle matérialisant la droite de référence.

En ce qui concerne la rectitude d'un déplacement, la tolérance est l'écart maximum admissible entre la trajectoire d'un point de l'organe mobile et une droite de référence. Il est nécessaire de préciser dans quel plan s'effectue la vérification et quelle est la position du champ de tolérances par rapport à la droite de référence, par exemple « seulement concave, dans le plan vertical ».

Figure 8. Vérification de la rectitude d'un guidage en V

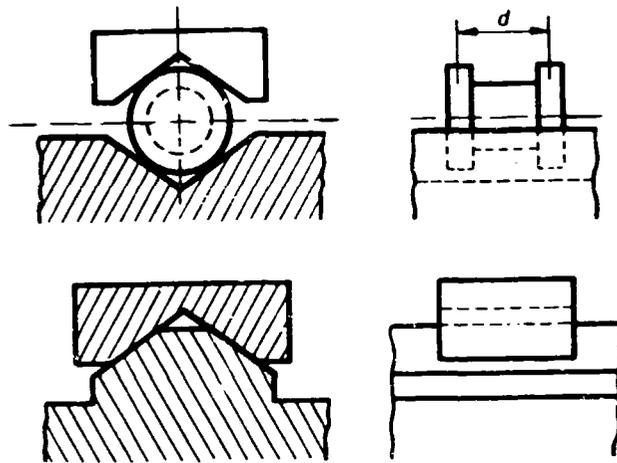
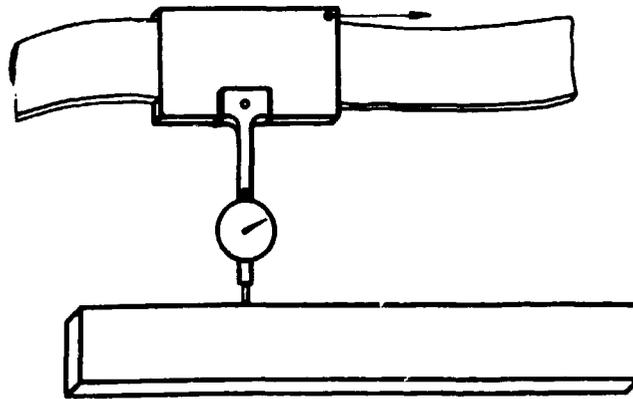


Figure 9. Vérification de la rectitude d'un déplacement



Vérification de la coaxialité

Les méthodes de vérification de la coaxialité sont les suivantes :

- a) Méthode de la mesure en des points opposés;
- b) Méthode à deux mandrins.

La figure 10 illustre la méthode de mesure en des points opposés. Le comparateur est monté sur l'axe A, qui tourne. L'axe B est la continuation de l'axe A. On suppose que l'axe géométrique de l'axe B a, par rapport à l'axe géométrique de l'axe A, un déplacement δ sur la verticale et un déplacement ϵ sur l'horizontale.

Dans le cas où le palpeur du comparateur atteint la génératrice supérieure de l'axe B, l'axe a un déplacement δ ; quand il atteint la génératrice inférieure, la déviation est toujours égale à δ , mais en sens opposé. Si l'aiguille du comparateur est réglée sur la position zéro quand le palpeur atteint la génératrice supérieure ou inférieure, après une rotation de 180° , la déviation sera 2δ , ce qui représentera la valeur maximale de l'écart.

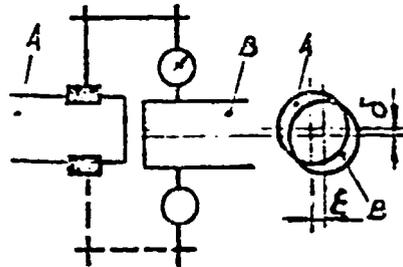
Cette méthode contient cependant une source d'erreurs, dont on doit tenir compte en fonction du degré de précision de la machine-outil à réceptionner.

Ces erreurs sont les suivantes :

- a) Erreur due à l'influence du poids du palpeur, dont la force de pression augmente dans la position haute et diminue dans la position basse;

- b) Erreur due à l'utilisation d'un mandrin intermédiaire, lequel acquiert une flèche due tant à son propre poids qu'au poids du comparateur, ce qui augmente l'écart de coaxialité;
- c) Erreur due au manque de rigidité du support du comparateur.

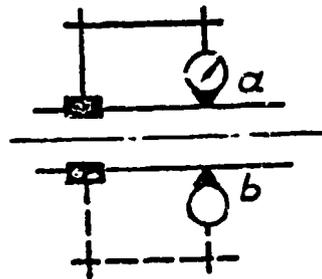
Figure 10. Méthode de mesure en des points opposés



On peut déterminer la somme des erreurs dues à la courbure du bras et à la pression exercée par le palpeur.

A cet effet, le comparateur est monté sur l'axe sur lequel appuie le palpeur (figure 11).

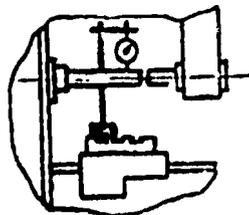
Figure 11. Mesure des erreurs inhérentes à la méthode



La différence entre les lectures dans les positions *a* et *b* représente la somme des erreurs dues à la déformation du bras et au poids du palpeur.

On applique la méthode des deux mandrins pour vérifier la coaxialité de deux alésages (figure 12). Dans l'un des alésages, on fixe un mandrin de contrôle; dans l'autre, on fixe un mandrin auxiliaire ayant un diamètre rigoureusement égal à celui du premier.

Figure 12. Méthode des deux mandrins pour vérifier la coaxialité de deux alésages



Pour relever l'écart avec la verticale, la pointe du comparateur se déplace le long de la génératrice supérieure des deux mandrins, en glissant sur la surface de la table de la machine ou d'une règle de vérification placée horizontalement à l'aide d'un niveau.

On répète la même opération sur la génératrice inférieure et sur les côtés.

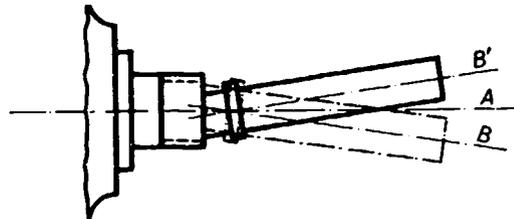
Vérification du parallélisme et de l'équidistance

Parallélisme

On vérifie le parallélisme dans des plans déterminés, par exemple dans le plan horizontal, dans le plan vertical ou dans un plan perpendiculaire à la surface devant être vérifiée sur des longueurs données.

Pour vérifier le parallélisme de deux axes, on utilise des mandrins de vérification fixes, centrés au sommet des arbres. En pareil cas, il faut tenir compte de l'impossibilité de centrer parfaitement les mandrins par rapport à l'axe de rotation. Pendant la rotation, l'axe du mandrin occupera deux positions extrêmes, B et B', contenues dans le plan de vérification (figure 13).

Figure 13. Positions extrêmes de l'axe du mandrin, B et B', pendant la vérification du parallélisme



En conséquence, lors de la vérification du parallélisme, on effectue tout d'abord une mesure dans une position quelconque du mandrin, puis on répète la mesure après une rotation de 180° du mandrin. La moyenne arithmétique des deux résultats représente l'écart par rapport au parallélisme dans le plan considéré.

Pour vérifier le parallélisme de deux plans, l'appareil de mesure est fixé sur un support ayant une base rigoureusement plane et se déplace sur la longueur prévue; le palpeur glisse le long du second plan (figure 14).

Le parallélisme de deux axes est vérifié dans deux plans. Pour la première vérification, on utilise un comparateur dont le support est prismatique (figure 15). On le fixe sur un cylindre matérialisant l'un des axes, le palpeur touchant le cylindre qui matérialise le second axe. Le comparateur se déplace sur la longueur prévue. Pour déterminer en chaque point la distance la plus courte entre les deux axes, le comparateur est balancé légèrement perpendiculairement aux deux axes.

Figure 14. Vérification du parallélisme de deux plans

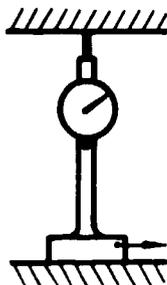
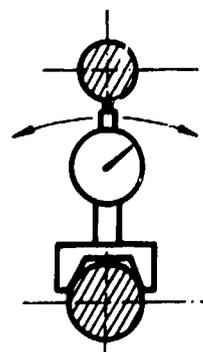


Figure 15. Dispositif pour vérifier le parallélisme de deux axes

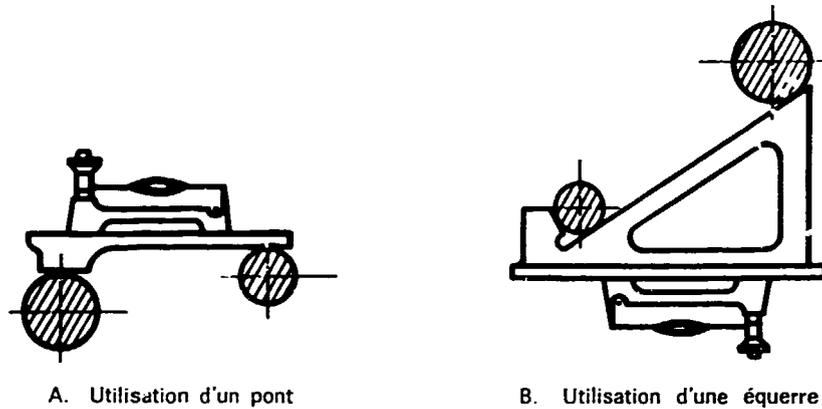


Pour la vérification dans le deuxième plan, on a besoin d'un plan auxiliaire perpendiculaire au plan passant par les deux axes.

Si ce plan auxiliaire existe sous la forme d'une surface de la machine parallèle aux deux axes, on vérifie séparément le parallélisme des deux axes avec ce plan. Dans le cas contraire, on utilise un plan de référence imaginaire, que l'on réalise à l'aide d'un niveau réglable placé sur les deux surfaces cylindriques matérialisant les axes; la bulle du niveau sera mise sur la position zéro.

Selon la différence de niveau entre les deux axes, on utilisera un pont (figure 16A) ou une équerre (figure 16B).

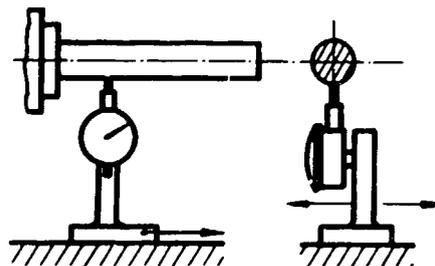
Figure 16. Vérification du parallélisme



Le niveau est déplacé le long des axes sur la distance prévue et on lit ses indications. Le résultat de la mesure est indiqué par rapport à la distance entre les axes (par exemple : 0,05/200).

Pour vérifier le parallélisme d'un axe par rapport à un plan, on utilise un comparateur dont le support se déplace le long du plan sur la longueur prévue, en même temps que le palpeur glisse le long de la surface cylindrique qui matérialise l'axe (figure 17).

Figure 17. Vérification du parallélisme d'un axe par rapport à un plan



En chaque point, la distance la plus courte (celle qui est lue sur le comparateur) est déterminée par un léger déplacement du support du comparateur dans la direction perpendiculaire à l'axe considéré.

Par parallélisme des déplacements, on entend la position de la trajectoire d'un organe mobile de la machine par rapport à un plan (une surface d'appui, un guidage, une droite, un axe, etc.) ou à la trajectoire d'un point d'un autre organe de la machine.

En principe, les méthodes de mesure sont identiques à celles qu'on applique pour vérifier le parallélisme des lignes et des plans.

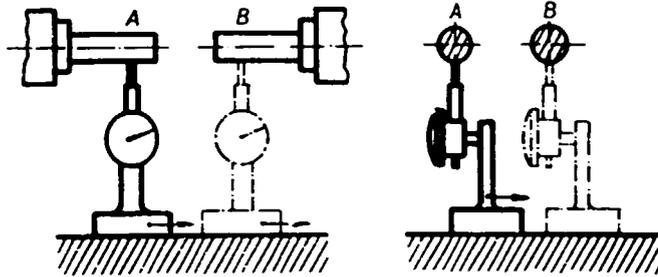
Dans tous les cas où le dispositif de mesure doit se déplacer, il faut le fixer sur l'organe mobile, qui tient ainsi lieu de support du comparateur.

La tolérance quant au parallélisme d'un déplacement est l'écart maximal admissible de la distance la plus courte entre un point donné de l'organe mobile et un plan une droite ou une autre trajectoire sur une longueur donnée.

Equidistance

La vérification de l'équidistance se ramène à celle du parallélisme. Après avoir vérifié séparément le parallélisme entre chaque axe et le plan de référence, on vérifie la distance entre les deux axes et le plan de référence, en touchant avec le palpeur du même comparateur, placé sur le plan de référence, les surfaces cylindriques qui matérialisent les deux axes (figure 18).

Figure 18. Vérification de l'équidistance

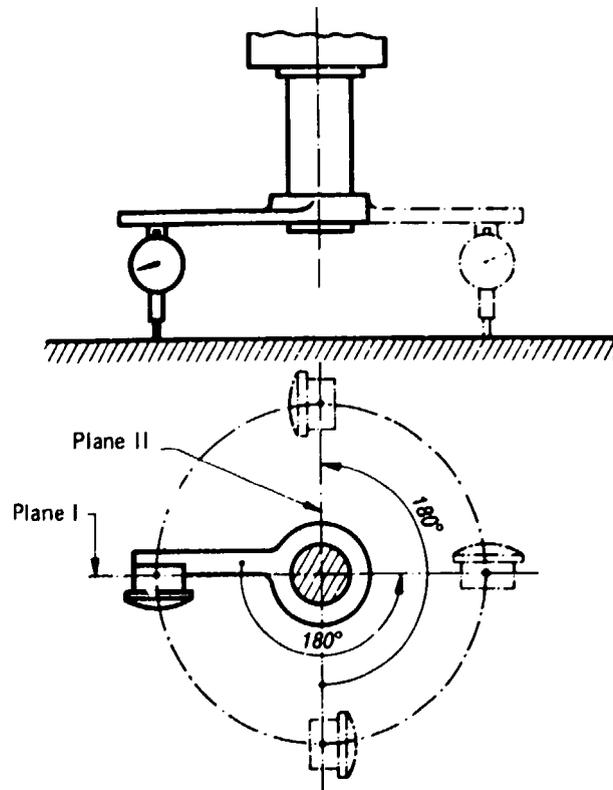


La tolérance quant à l'équidistance ne sera précédée d'aucun signe et sera valable, en général, dans toutes les directions parallèles au plan de référence.

Vérification de la perpendicularité

La vérification de la perpendicularité se ramène à une vérification du parallélisme, avec les observations ci-après.

Figure 19. Vérification de la perpendicularité à l'aide d'un comparateur



Dans le cas d'un axe de rotation, l'équerre peut être remplacée par un bras fixé sur l'élément tournant, qui porte le comparateur fixé lui-même de manière que le palpeur soit orienté parallèlement à l'axe de rotation. Au cours de la rotation, le palpeur décrit un cercle dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation (figure 19).

En mesurant la variation des distances entre le plan à vérifier et le plan du cercle décrit par le palpeur, on détermine l'écart du parallélisme entre ces deux plans. Cet écart est exprimé par rapport au diamètre du cercle décrit.

Il est recommandé de vérifier la perpendicularité de deux plans à l'aide d'une équerre de vérification placée sur l'un des plans à vérifier. A l'aide d'un comparateur dont le support repose sur le deuxième plan à vérifier, on mesure le parallélisme du côté libre de l'équerre par rapport au plan sur lequel repose le support du comparateur (figure 20).

De la même manière, on peut vérifier la perpendicularité de deux axes (figure 21).

Figure 20. Vérification de la perpendicularité de deux plans

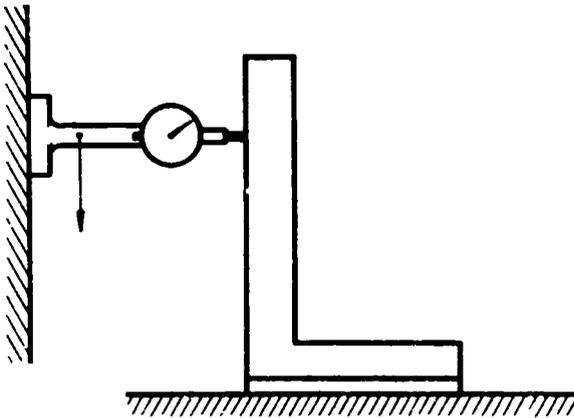
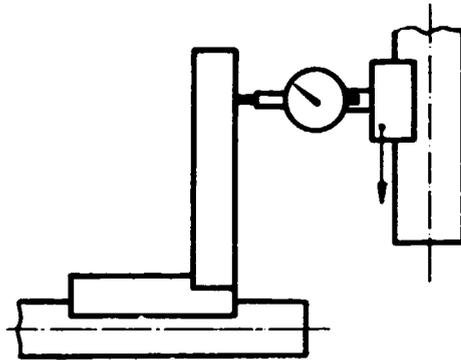
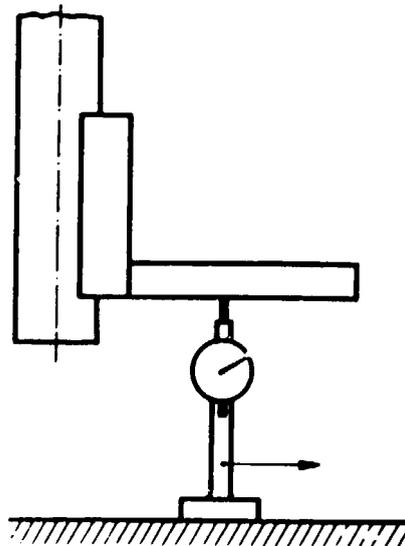


Figure 21. Vérification de la perpendicularité de deux axes



Pour vérifier la perpendicularité d'un axe et d'un plan, on pose une équerre à base prismatique sur la surface cylindrique matérialisant l'axe (figure 22). Le parallélisme du plan par rapport au côté libre de l'équerre est vérifié comme le parallélisme de deux plans.

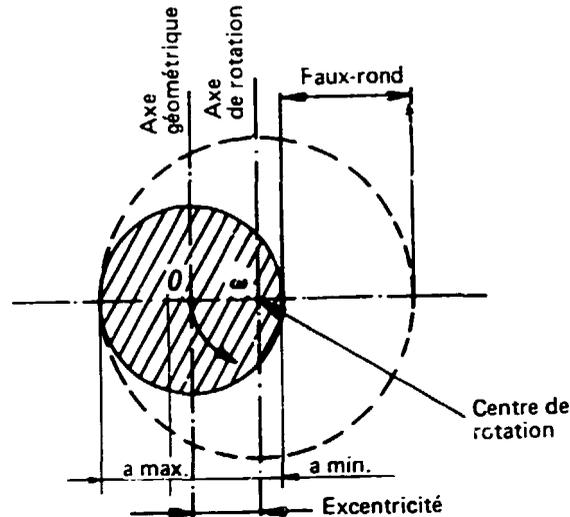
Figure 22. Vérification de la perpendicularité d'un axe et d'un plan



Vérification de la rotation

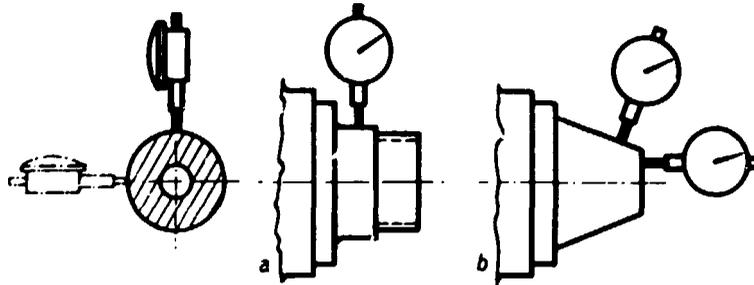
Le battement radial (faux-rond) d'une pièce dans une section donnée est illustré par la figure 23. Si l'on ne tient pas compte de l'écart de forme, le battement radial de la pièce est le double de l'excentricité de l'axe de la pièce dans la section considérée; on peut dire aussi que c'est la différence entre la distance maximale (a_{\max}) et le distance minimale (a_{\min}). En général, le battement radial d'une pièce est la résultante de l'excentricité de l'axe, de l'écart de forme de la pièce et des défauts des paliers.

Figure 23. Battement radial



Pour ce qui est des procédés de mesure, dans le cas de surfaces extérieures, le comparateur est fixé de manière que le palpeur touche la surface de révolution à vérifier, perpendiculairement à la génératrice de cette surface; on fait tourner lentement l'arbre en jeu (figure 24).

Figure 24. Mesure du battement radial (surface extérieure)

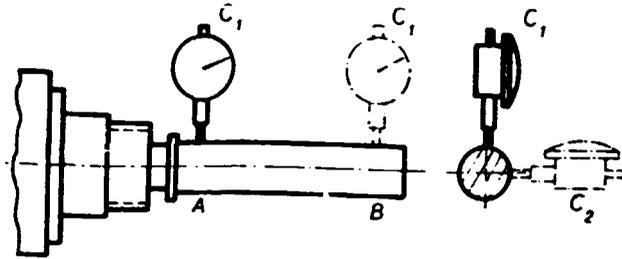


Les surfaces coniques, surtout celles à grande conicité, exigent une vérification préalable du battement axial, car celui-ci influe sur les résultats de la mesure du battement radial.

Dans le cas de surfaces intérieures, on installe dans l'alésage un mandrin de vérification, de sorte que la mesure soit faite comme dans le cas des surfaces extérieures, la seule différence étant qu'il y a deux plans, A et B, perpendiculaires à l'axe de l'alésage (figure 25).

Pour éviter l'influence d'une jonction imparfaite entre l'alésage et le mandrin, il est recommandé de répéter quatre fois les mesures, à 90° par rapport à l'alésage, en prenant comme résultat final la moyenne arithmétique obtenue.

Figure 25. Mesure du battement radial (surfaces intérieures)



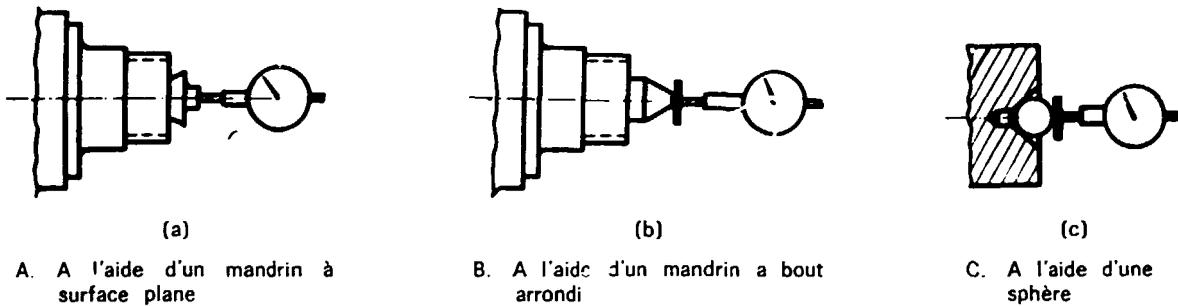
L'indice de tolérance pour le battement radial n'est précédé d'aucun signe. Il englobe les écarts de forme de la surface de révolution, le déplacement et le non-parallélisme de l'axe de cette surface par rapport à l'axe de rotation et le déplacement de ce dernier si les alésages des paliers ne sont pas parfaitement circulaires.

Pour vérifier le battement axial, on utilise un comparateur dont le palpeur touche la surface frontale de l'organe vérifié, au centre même de cette surface et coaxialement à l'axe de rotation (figure 26).

On fait tourner lentement l'organe vérifié, en appliquant une force axiale en vue d'éliminer tout jeu éventuel.

Dans le cas d'un organe rotatif creux (arbre), on introduit dans l'alésage un mandrin de vérification ayant une surface frontale plane, perpendiculaire à l'axe du mandrin, sur laquelle s'appuiera le palpeur à pointe arrondie (figure 26A). Si on utilise un palpeur plan, on fixe un bout arrondi sur la surface plane du mandrin (figure 26B). Dans le cas où l'organe rotatif est pourvu d'un trou de centrage, on peut faire la vérification à l'aide d'une sphère de contact et d'un appareil de mesure à palpeur plan (figure 26C).

Figure 26. Vérification du battement axial



A. A l'aide d'un mandrin à surface plane

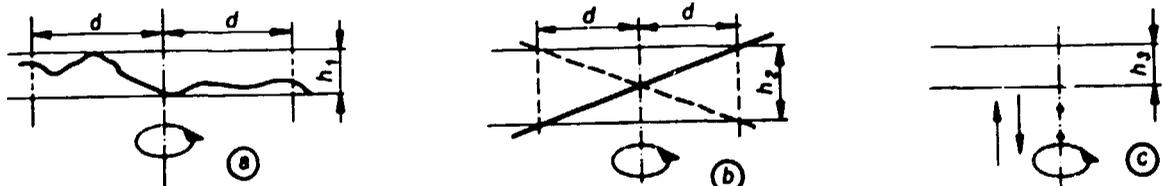
B. A l'aide d'un mandrin à bout arrondi

C. A l'aide d'une sphère

La tolérance pour le battement axial est le déplacement axial maximal de l'organe rotatif au cours d'une rotation lente complète.

Le battement frontal d'une surface tournant autour d'un axe est un défaut dû au fait qu'elle ne reste pas dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. L'ampleur du battement frontal est la distance, h , entre les deux plans perpendiculaires à l'axe de rotation entre lesquels se situent les différents points de la surface considérée pendant son mouvement de rotation (figure 27).

Figure 27. Battement frontal



A. La surface n'est pas plane

B. La surface et l'axe de rotation ne sont pas perpendiculaires

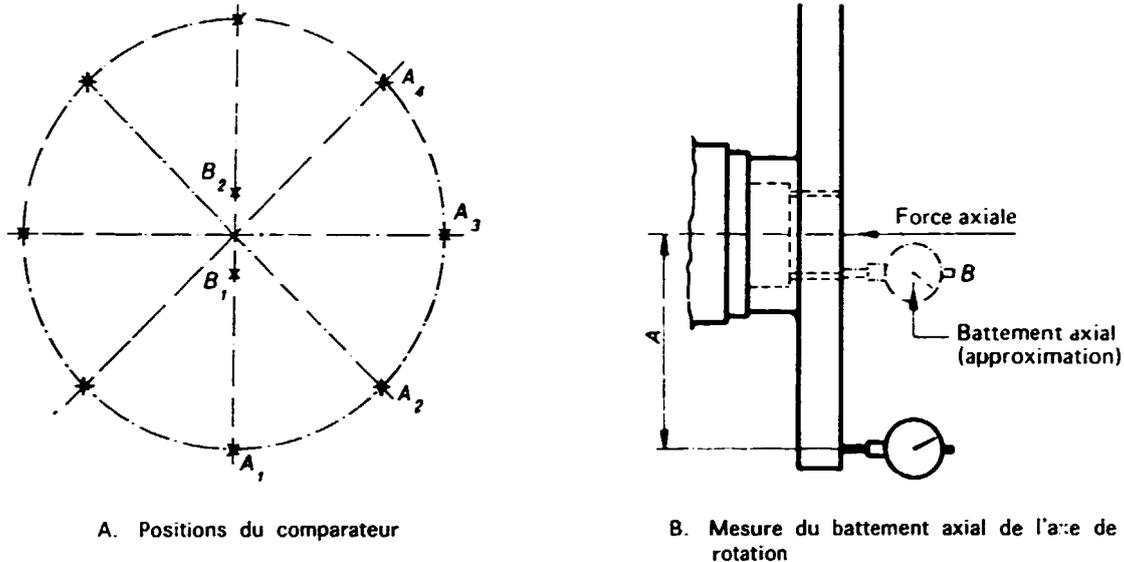
C. Il y a déplacement de l'axe de rotation

Le battement frontal peut être considéré sur toute la surface à vérifier, ou seulement à une certaine distance, d , de l'axe de rotation.

Le battement frontal d'une surface peut avoir plusieurs causes : non-planéité de la surface (figure 27A), non-perpendicularité sur l'axe de rotation (figure 27B), battement axial de l'axe de rotation (figure 27C).

La mesure du battement frontal se fait à l'aide d'un comparateur placé de manière que son palpeur soit perpendiculaire à la surface à vérifier (figure 28).

Figure 28. Mesure du battement frontal



On fait tourner lentement la surface à vérifier; on lit les indications du comparateur en plusieurs points (A₁, A₂, etc.) et on note les valeurs maximales.

Vérification du comportement des machines-outils en marche à vide

L'essai de marche à vide consiste à mettre la machine en marche, puis à embrayer successivement (selon le cas) les divers outils ou accessoires, qui tourneront de la plus petite à la plus grande vitesse prévue. A la vitesse maximale, la machine doit fonctionner sans interruption pendant au moins deux heures; pendant ce temps, on couple tous les mouvements auxiliaires : avance, montée-descente de la table, etc.

Température des paliers

Pendant le fonctionnement à la vitesse maximale, on enregistre toutes les 10 minutes la température des paliers de l'axe principal; elle ne doit pas dépasser 60 °C pour les paliers à coussinets et 70 °C pour les paliers à roulement. La température des paliers des transmissions des autres mécanismes (ducteurs, boîtes de vitesse, etc.) ne doit pas dépasser 50 °C.

Fonctionnement de la machine

Pendant la marche à vide, on effectue les opérations de contrôle suivantes :

a) Vérification du fonctionnement normal des couplages et des transmissions, de la bonne réalisation des commutations et des commandes, de leurs blocages réciproques (le cas échéant), de la sûreté de fixation et de l'impossibilité de mouvement non commandé, ainsi que la constance de l'effort nécessaire pour la commande manuelle des organes sur toute la longueur de leur déplacement;

- b) Vérification du fonctionnement des dispositifs automatiques, des limiteurs de course et des autres mécanismes;
- c) Vérification du système de graissage, conformément au schéma de graissage contenu dans la notice technique de la machine;
- d) Vérification des circuits électriques, en notant si le démarrage, l'arrêt, le changement de sens, le freinage, le réglage de la rotation, etc., ont bien lieu à la commande et si les dispositifs de protection et de sûreté fonctionnent au moment opportun, sans retard;
- e) En cas de fonctionnement en cycle automatique, vérification du fonctionnement des divers dispositifs selon les phases prévues, rapidement et sans retard.

Vérification de la vitesse du mouvement principal (de coupe)

On procède à cette vérification après avoir vérifié que l'extension des courroies, le réglage des couplages, des paliers, etc., sont normaux. Pour chaque valeur indiquée dans les spécifications techniques, on fera au moins deux lectures. L'écart maximum admissible par rapport aux spécifications ne doit pas être supérieur à 5 %. Les vitesses de rotation sont mesurées à l'aide d'un tachymètre. Les mouvements alternatifs sont calculés à l'aide d'un compteur et d'un chronomètre si leur nombre est inférieur à 80 par minute; dans le cas contraire, on mesure la rotation du dernier élément rotatif de la chaîne principale et on calcule le nombre de mouvements alternatifs, en tenant compte du rapport de transmission.

Vérification de l'avance

Cette vérification est faite en fonction du mode dans lequel l'avance est exprimée.

Si l'avance est exprimée en millimètres par tour de l'axe principal (mm/tr), on fait la vérification en mesurant le déplacement de l'organe qui assure l'avance après un certain nombre de tours de l'axe.

Vérification du niveau de bruit (niveau de la pression acoustique)

Cette vérification doit être faite en tenant compte des normes de protection du travail en vigueur dans le pays de l'acheteur, après entente préalable avec le constructeur de la machine.

A titre d'exemple des limites admises conformément aux normes de protection du travail en Roumanie, voici quelques prescriptions de base. Pour les machines-outils à travailler le bois, le niveau de bruit (en décibels) est fonction de la fréquence (en hertz).

NIVEAU DE BRUIT EN FONCTION DE LA FREQUENCE*

<i>Fréquence (Hz)</i>	<i>Niveau de bruit (dB)</i>
31,5	110
63	103
125	96
250	91
500	88
1 000	85
2 000	83
4 000	81
8 000	80
16 000	79
31 500	78

* A l'époque où cet article a été rédigé (1972).

On considère que le bruit d'une machine est supérieur au maximum admissible lorsque la courbe de son spectre (mesurée à l'aide d'un phonomètre ayant un set de filtres à la largeur de passage d'un

octave) est plus élevée que la courbe de bruit admissible, pour des mesures faites à 1 m et 5 m de la machine.

Il est recommandé de conclure un accord obligeant le fournisseur de la machine à indiquer les valeurs du niveau de pression acoustique global à 1 m et 5 m de la machine, dans des conditions normales d'exploitation et de fonctionnement. Les valeurs ainsi mesurées doivent être inférieures aux valeurs données par la courbe de bruit admises par les normes de protection du travail dans le pays de l'acheteur.

Vérification du comportement des machines-outils à pleine charge

L'essai à pleine charge doit se rapprocher autant que possible des conditions d'exploitation normales de la machine. Il doit être effectué quand les paliers ont atteint la température de régime, étant donné qu'il a pour but de démontrer le fonctionnement sûr et correct des organes de la machine, ainsi que la possibilité de l'utiliser à pleine charge.

Les essais consistent à usiner des spécimens de bois, dont les dimensions, l'essence, l'humidité et le degré d'usinage préalable sont indiqués dans les spécifications concernant la précision de la machine considérée. La précision d'usinage devra correspondre aux mêmes normes.

La machine est chargée jusqu'à sa puissance normale et doit ainsi fonctionner pendant 30 minutes; elle doit ensuite fonctionner en surcharge, la valeur et la durée de cette dernière étant établies par accord entre le fournisseur et l'acheteur. L'essai à pleine charge des machines-outils à caractère universel est fonction de leur destination : dégrossissage ou finissage. Si la machine doit effectuer les deux types d'usinage, elle est essayée séparément pour chacun d'eux.

Pendant la marche à pleine charge, on vérifie de nouveau la température des paliers et le bon fonctionnement des organes contrôlés lors de l'essai en marche à vide.

Lors du fonctionnement en charge normale, les vitesses des mouvements principaux et secondaires (avance, levage de la table, etc.) ne doivent pas différer de plus de 5 % des vitesses correspondantes mesurées lors de l'essai en marche à vide.

Pour mesurer la consommation d'énergie électrique, il faut monter un wattmètre ou un ampèremètre et un voltmètre.

En cas d'entente spéciale entre fournisseur et acheteur, on fait également des tests de productivité, qui se déroulent conformément aux normes techniques établies.

Vérification de la précision géométrique et de la précision d'usinage de types représentatifs de machines-outils

Pour chaque type représentatif des groupes de machines à travailler le bois par enlèvement de copeaux, il faut indiquer la norme relative à la précision géométrique et à la précision d'usinage, et recommander les méthodes et moyens de vérification, ainsi que les tolérances, dont les valeurs sont comparables à celles prévues dans les normes des autres pays (annexes IIIa à IIIm). L'application des normes sera basée sur une convention entre le constructeur et l'acheteur. Les méthodes de vérification comprises dans les normes présentées doivent être fondées sur les indications données dans le présent chapitre. Avant d'effectuer les vérifications et les essais prévus dans une norme, il faut installer la machine conformément aux indications données dans le présent chapitre. Les organes mobiles de la machine doivent également être mis en état de marche. Les tests et vérifications ne sont pas énumérés dans l'ordre d'exécution. Pour des raisons opérationnelles, on peut modifier cet ordre.

Pour les machines combinées, à plusieurs porte-outils, on procédera aux vérifications appropriées indiquées pour les types représentatifs de machines.

Fiches de niveau technique pour les types représentatifs de machines à travailler le bois par enlèvement de copeaux

Les principaux paramètres de la machine et leurs valeurs au niveau de la technique actuelle sont donnés dans les annexes IVa à IVr. Ces valeurs sont indiquées dans la fiche de niveau technique de chaque type représentatif de machines à travailler le bois par enlèvement de copeaux.

Annexe I

LISTE DE MACHINES-OUTILS A TRAVAILLER LE BOIS PAR ENLEVEMENT DE COPEAUX

- a. *Scies à mouvement alternatif*
 Scies alternatives verticales
 Scies alternatives horizontales
 Scies alternatives à tronçonner
- b. *Scies à mouvement continu*
 Scies à ruban vertical (pour débiter les grumes, à refendre, de menuiserie)
 Scies à ruban horizontal
 Scies à chaîne
- c. *Scies circulaires*
 Scies circulaires à tronçonner
 Scies circulaires à refendre, à avance manuelle
 Scies circulaires à refendre, à une ou plusieurs lames, à avance mécanique
 Scies circulaires multiples à format
 Scies circulaires universelles
- d. *Machines à raboter*
 Dégauchisseuses
 Machines à tirer d'épaisseur
 Raboteuses sur deux faces
 Machines à raboter et à moulurer sur trois ou quatre faces
- e. *Machines à fraiser*
 Fraiseuses verticales (toupies)
 Défonceuses
 Mortaiseuses à chaîne
 Fraiseuses pour paquets de placages
 Fraiseuses pour bâtons ronds
 Fraiseuses spéciales
- f. *Machines à percer*
 Mortaiseuses à mèches
- g. *Tours et machines à copier*
 Tours pour bois
 Tours spéciaux à copier
- h. *Machines à poncer*
 Ponceuses à bande horizontale
 Ponceuses à cylindres
 Ponceuses à bande large, à contact

Annexe II

DEFINITIONS DE CLASSES DE PRECISION POUR LES MACHINES A TRAVAILLER LE BOIS

<i>Objet du test</i>	<i>Tolérances en mm</i> <i>Classes de précision</i>		
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
Planéité des tables, des surfaces de travail et des règles de guidage dans les sens longitudinal et transversal	$\frac{0,15}{1\ 000}$	$\frac{0,20}{1\ 000}$	$\frac{0,25-0,50}{1\ 000}$
Rectitude des déplacements	$\frac{0,15}{1\ 000}$	$\frac{0,25}{1\ 000}$	$\frac{0,30-0,50}{1\ 000}$
Parallélisme entre les éléments des machines et des guidages	$\frac{0,15}{1\ 000}$	$\frac{0,25}{1\ 000}$	$\frac{0,30}{1\ 000}$
Perpendicularité	$\frac{0,15}{1\ 000}$	$\frac{0,25}{1\ 000}$	$\frac{0,30}{1\ 000}$
Battement radial (faux-rond)	0,02-0,03	0,03-0,05	0,05-0,10
Battement axial	0,02	0,03	0,05
Battement frontal	0,02	0,03	0,05

Annexe III

SPECIFICATIONS POUR LA PRECISION DES MACHINES A TRAVAILLER LE BOIS

IIIa. Prescriptions pour scies alternatives verticales

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Rectitude du déplacement dans un plan vertical des lames montées dans le cadre	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, dont le support est placé sur un plan dont l'horizontalité est vérifiée à l'aide d'un niveau à bulle. Le palpeur du comparateur touche, perpendiculairement, la surface de la lame. Le cadre est déplacé du point mort supérieur au point mort inférieur (une course) et inversement. On lit les indications extrêmes du comparateur.
2. Parallélisme des faces extérieures des traverses (surfaces d'emplacement des brides de fixation)	$\frac{0,3}{1\ 000}$	Comparateur à cadran, à support spécial, règles à vérifier, cales planes parallèles. (Cette vérification doit être faite avant le montage du cadre sur la scie.)
3. Faux-rond des volants montés sur l'arbre principal	0,05	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm. Rotation complète de l'arbre principal (360°).
4. Battement frontal des surfaces latérales des volants	0,05	Comparateur comme pour (3). La vérification est faite au niveau de la couronne usinée, en faisant tourner le volant de 360°.
5. Coaxialité des manetons des volants	0,05	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, à support spécial. La vérification est faite dans quatre positions : horizontalement, à gauche et à droite, verticalement, en haut et en bas.
6. Parallélisme des cylindres inférieurs	$\frac{0,5}{1\ 000}$	Comparateur comme pour (5), règle à vérifier. La mesure doit être faite sur toute la longueur du cylindre.
7. Parallélisme des cylindres supérieurs se trouvant dans le même plan horizontal	$\frac{0,5}{1\ 000}$	Comme pour (6).
8. Parallélisme des cylindres supérieur et inférieur	$\frac{0,5}{1\ 000}$	Comme pour (6). Cylindres supérieurs dans différentes positions par rapport à la verticale (mesure obligatoire dans la position la plus basse et la position la plus haute).

B. Précision d'usinage

On utilise comme échantillons des grumes de résineux, à débiter en sciage, dont le diamètre est en corrélation avec l'ouverture de la scie :

$$D_{max} = a - 50 \text{ mm}$$

où : D_{max} = diamètre maximum de la grume, en mm

a = ouverture du cadre, en mm

1. Parallélisme des surfaces latérales des pièces débitées. On débite des planches jusqu'à 24 mm d'épaisseur et des madriers jusqu'à 75 mm d'épaisseur	Pied à coulisse
a) Epaisseur jusqu'à 17 mm	a) : 0,5 mm
b) Epaisseurs entre 18 et 28 mm	b) : 1 mm
c) Epaisseurs entre 29 et 60 mm	c) : 1,5 mm
d) Plus de 60 mm	d) : 2 mm
2. Rugosité des faces latérales des pièces débitées	0,5 mm

IIIb. Prescriptions pour scies à ruban de menuiserie (à volants jusqu'à 1 000 mm de diamètre)

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table :		Règle à vérifier, plus longue que la dimension vérifiée. Espions, cales planes parallèles.
a) en longueur	a) $\frac{0,4}{1\ 000}$	
b) en largeur	b) $\frac{0,4}{1\ 000}$	
c) en diagonale	c) $\frac{0,5}{1\ 000}$	
2. Planéité du guidage	$\frac{0,25}{1\ 000}$	Comme pour (1).
3. Perpendicularité de la surface de guidage sur la surface de travail de la table	$\frac{0,2}{100}$	Equerre de vérification d'au moins 100 mm de côté, espions.
4. Position dans le même plan des surfaces des deux volants	$\frac{0,4}{1\ 000}$	Règle à vérifier, de longueur plus grande que $(D + A)$, où: D = diamètre du volant A = distance entre les axes des volants La règle est placée sur les surfaces des deux volants; à l'aide d'espions, on mesure l'espace entre la règle et la surface.
5. Perpendicularité de la lame sur la table de la machine	$\frac{0,1}{100}$	Sur la surface frontale des deux volants, on place une règle à vérifier dont la longueur est plus grande que $(D + A)$. La vérification est effectuée à l'aide d'une équerre de contrôle, ayant des côtés de 200 mm, placée sur la surface de travail de la table et en contact avec la règle à vérifier. L'écart (espace entre la règle et le côté de l'équerre) est mesuré au bout du côté vertical, à l'aide d'espions.
6. Faux-rond des volants	0,15	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, placé sur la table de la machine de manière que le palpeur touche la jante des volants supérieur et inférieur. On fait tourner le volant de 360°.
7. Battement frontal des volants	0,15	Comparateur comme pour (6); le palpeur touche la surface frontale. On fait tourner le volant de 360°.
8. Maintien du volant dans un plan vertical	0,6	Comparateur comme pour (6), placé sur la table de la machine, derrière le ruban, de manière que le palpeur touche perpendiculairement l'arête du ruban. On fait la vérification pour au moins trois tours complets de 360°.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons d'essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %, rabotés plans et rectangulaires, ayant les dimensions 40 × 150 × 1 000 mm.		
1. Parallélisme des côtés refendus :		Le refendu est fait à une épaisseur de 30 mm. Vérification à l'aide du pied à coulisse.
a) Longitudinalement	a) 0,6	
b) Transversalement	b) 0,4	

IIIc. Prescriptions pour scies circulaires à avance manuelle

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table principale et de la table mobile, dans les sens longitudinal et transversal	$\frac{0,25}{1\ 000}$	Règle à vérifier, plus longue que la table. Cales planes parallèles; espions.
2. Planéité de la surface de travail de la règle de guidage	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Comme pour (1).
3. Perpendicularité de la surface de guidage sur la surface de travail de la table	$\frac{0,2}{100}$	Equerre à vérifier, ayant au moins 100 mm de côté; espions.
4. Rectitude, dans le plan vertical, du sens de déplacement de la table mobile	$\frac{0,5}{1\ 000}$	Règle à vérifier, plus longue que la table mobile, et comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm.
5. Faux-rond de l'arbre porte-lames	0,05	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm.
6. Battement frontal de la flanche de l'arbre porte-lames	0,05	Comme pour (5).
7. Battement axial de l'arbre porte-lames	0,05	Comme pour (5), avec palpeur plan. Dans le tronçonnage de centrage de l'arbre porte-lames, on introduit une bille d'acier en contact avec le palpeur plan.
8. Perpendicularité du plan du disque de contrôle sur la surface de travail de la machine	$\frac{0,1}{100}$	Equerre à vérifier, ayant au moins 100 mm de côté; espions.
9. Parallélisme du plan du disque de vérification et de la surface de travail de la règle de guidage	0,1 (pour des lames de 300 mm de diamètre) 0,15 (pour des lames de 300-450 mm de diamètre)	Disque de vérification (à la place de la scie circulaire). Règle à vérifier; pied à coulisse.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons d'essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %, à surfaces et chants rabotés et parallèles, aux dimensions de 150 × 30 × 2 000 mm.		
1. Parallélisme des chants refendus	$\frac{0,5}{1\ 000}$	Pied à coulisse.
2. Perpendicularité de la surface du chant sur la surface frontale	$\frac{0,5}{100}$	Equerre à vérifier; espions.
3. Perpendicularité des chants refendus sur la surface d'appui de l'échantillon	$\frac{0,1}{30}$	Comme pour (2).

III. Prescriptions pour scies circulaires à avance mécanique

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité et coïncidence des surfaces des panneaux de la chenille d'avance dans le sens longitudinal	0,5	Règle à vérifier, plus longue que la table; cales planes parallèles; espions.
2. Planéité et coïncidence des surfaces des panneaux de la chenille dans le sens transversal	0,2	Règle à vérifier, plus longue que le double de la largeur de la chenille; cales planes parallèles; espions.
3. Rectitude de la surface de travail de la règle de guidage dans le sens longitudinal	$\frac{0,2}{1000}$ (concavité seulement)	Règle à vérifier, plus longue que la règle de guidage; cales planes parallèles; espions.
4. Faux-rond de l'arbre porte-lames	0,03	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm.
5. Battement frontal de la surface d'appui de la cale de l'arbre porte-lames	0,05	Comme pour (4).
6. Parallélisme de l'axe de l'arbre porte-lames et de la surface de travail de la chenille	$\frac{0,2}{100}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm; règle à vérifier, plus longue que la largeur de la chenille.
7. Perpendicularité de la règle de guidage sur l'arbre porte-lames	$\frac{0,2}{100}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm; bras spécial pour fixer le comparateur sur l'arbre porte-lames; règle à vérifier.
8. Faux-rond des arbres de pression	0,2	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm.
9. Parallélisme des cylindres de pression et de la surface de travail de la chenille	0,2	Comme pour (8). Règle à vérifier, plus longue que la largeur de la chenille.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons d'essences dures, sans fibre droite, ayant une teneur en humidité inférieure ou égale à 10 %, avec faces et chants rabotés et perpendiculaires, ayant les dimensions de 50 × 150 × 1000 mm. Les échantillons sont refendus.		
1. Parallélisme de la surface de coupe et de la surface rabotée	0,4	Pied à coulisse, ayant une précision de lecture de 0,05 mm.
2. Perpendicularité du chant refendu et de la face d'appui de l'échantillon	0,2	Equerre à vérifier, ayant plus de 50 mm de côté; espions; panneau de vérification.
3. Rectitude des chants refendus	0,4	Règle à vérifier, ayant une longueur utile de 1000 mm; espions.

IIIc. Prescriptions pour dégauchisseuses

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
A. Précision géométrique		
1. Planéité de la surface de travail de chaque table (table d'alimentation et table d'évacuation) :		Règle à vérifier, plus longue que la dimension vérifiée; espions; cales planes parallèles.
a) en longueur	a) $\frac{0,2}{1\ 000}$	
b) en largeur	b) $\frac{0,15}{1\ 000}$	
c) en diagonale	c) $\frac{0,2}{1\ 000}$	
2. Planéité de la surface de travail des deux tables réglées à la même hauteur, dans le sens longitudinal et en diagonale	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Règle à vérifier, plus longue que la longueur totale des deux tables; espions; cales planes parallèles.
3. Parallélisme de la surface de travail de la table d'alimentation et de la surface de travail de la table d'évacuation, à différentes profondeurs d'enlèvement des copeaux	0,2	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, placé au bord de la table d'évacuation de manière que le palpeur touche la surface de travail de la table d'alimentation. On lit les valeurs en divers points de la largeur de la table, les tables étant réglées pour deux profondeurs d'enlèvement des copeaux, entre 0 et 5 mm.
4. Parallélisme de l'arbre porte-couteaux et de la surface de travail de la table d'évacuation	0,1 (pour des largeurs de travail jusqu'à 500 mm)	Même comparateur à cadran que pour (3), placé au bord de la table d'évacuation de manière que le palpeur touche la génératrice supérieure de l'arbre porte-couteaux. Le comparateur se déplace sur toute la largeur de la table.
5. Faux-rond de l'arbre porte-couteaux	0,05	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm, placé comme dans (4). On fait tourner l'arbre et on lit les indications extrêmes du comparateur.
6. Planéité de la surface de travail de la règle de guidage	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Règle à vérifier; cales planes parallèles.
7. Perpendicularité de la surface de travail de la règle de guidage sur la table de la machine	0,1	Equerre à vérifier, ayant au moins 100 mm de côté; espions.

B. Précision d'usinage

On utilise des échantillons d'essences tendres, à libre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %, et de dimensions 30 × 250 × 1 000 mm.

1. Planéité de la surface de l'échantillon usiné	0,2	Règle à vérifier; espions.
2. Planéité du chant de l'échantillon usiné	0,3	Comme pour (1).
3. Perpendicularité du chant usiné sur la surface usinée de l'échantillon	$\frac{0,1}{100}$	Equerre à vérifier; espions.

IIIg. Prescriptions pour les machines à tirer d'épaisseur

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table :		Règle à vérifier plus longue que la dimension considérée de la table; espions; cales planes parallèles.
a) en longueur	a) $\frac{0,2}{1\ 000}$	
b) en largeur	b) $\frac{0,15}{1\ 000}$	
c) en diagonale	c) $\frac{0,2}{1\ 000}$	
2. Parallélisme de l'arbre porte-couteaux et de la surface de travail de la table :		Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, placé au bord de la table de manière que le palpeur touche la génératrice inférieure de l'arbre porte-couteaux. Le comparateur est déplacé dans le sens transversal de la table; on lit les indications maximales. On fait la vérification pour deux positions de la table : supérieure, puis inférieure.
a) pour des largeurs de travail jusqu'à 400 mm	a) 0,15	
b) pour des largeurs de travail supérieures à 400 mm	b) 0,25	
3. Faux-rond de l'arbre porte-couteaux	0,05	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm, placé comme dans (2). On fait tourner l'arbre lentement et on lit les indications extrêmes.
4. Faux-rond des cylindres d'avance	0,05	Comme pour (3).
5. Parallélisme des cylindres d'avance et de la surface de travail de la table	$\frac{0,25}{1\ 000}$	Comparateur à cadran, comme pour (2).
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons d'essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 % et les dimensions de 30 × 150 × 1 000 mm.		
1. Parallélisme des faces usinées des échantillons	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Pied à coulisse

IIIg. Prescriptions pour les machines à raboter sur deux faces

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité des surfaces de travail de la table	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Voir les remarques et recommandations faites pour les machines à tirer d'épaisseur
2. Parallélisme de la surface de travail de la table d'entrée et de la surface de travail de la table principale	$\frac{0,2}{1\ 000}$	
3. Faux-rond de l'arbre porte-couteaux	0,05	
4. Parallélisme de l'arbre porte-couteaux supérieur et de la surface de travail de la table :		
a) pour des largeurs de travail jusqu'à 400 mm	a) 0,15	
b) pour des largeurs de travail entre 400 et 800 mm	b) 0,25	
5. Parallélisme des arbres porte-couteaux inférieur et supérieur et de la surface de travail de la table		
a et b comme pour (4)	a) 0,15 b) 0,25	

Annexe IIIg (suite)

<i>Objet du test</i>	<i>Tolérances (mm)</i>	<i>Remarques et recommandations</i>
<i>A. Précision géométrique (suite)</i>		
6. Faux-rond des cylindres d'avance	0,05	
7. Parallélisme des cylindres d'avance et de la surface de travail de la table principale a et b comme pour (4).	a) 0,15 b) 0,25	
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons d'essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %, et les dimensions de 40 × 250 × 600 mm.		
1. Parallélisme des faces usinées de l'échantillon dans le sens :		
a) longitudinal	a) 0,2	
b) transversal	b) 0,1	

IIIh. Prescriptions pour les machines à raboter et à muler sur trois ou quatre faces

<i>Objet du test</i>	<i>Tolérances (mm)</i>	<i>Remarques et recommandations</i>
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité des surfaces de travail des tables	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Voir les remarques et recommandations faites pour les machines à tirer d'épaisseur.
2. Parallélisme de la surface de travail des tables mobiles et de la surface de travail de la table fixe	$\frac{0,15}{1\ 000}$	
3. Planéité de la surface de travail de la règle de guidage	$\frac{0,15}{1\ 000}$	
4. Faux-rond des arbres porte-outils horizontaux	0,03	
5. Planéité des arbres porte-outils horizontaux sur les surfaces de travail de la table	$\frac{0,15}{1\ 000}$	
6. Battement axial des arbres porte-outils horizontaux	0,05	
7. Faux-rond des arbres porte-outils verticaux	0,03	
8. Battement axial des arbres porte-outils verticaux	0,05	
9. Perpendicularité des axes de rotation des arbres porte-outils verticaux sur la surface de travail	$\frac{0,03}{100}$	
10. Battement radial des cylindres d'avance	0,05	
<i>B. Précision d'usinage</i>		
1. Planéité des faces usinées	$\frac{0,2}{1\ 000}$	
2. Parallélisme des faces usinées	$\frac{0,3}{1\ 000}$	
3. Perpendicularité du chant usiné sur la surface d'appui de la pièce	$\frac{0,2}{1\ 000}$	

III. Prescriptions pour les fraiseuses verticales

<i>Objet du test</i>	<i>Tolérances (mm)</i>	<i>Remarques et recommandations</i>
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table de la machine dans les trois sens (longueur, largeur, diagonale)	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Règle à vérifier, plus longue que la plus grande dimension de la table; espions; cales planes parallèles.
2. Planéité des surfaces de guidage	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Comme pour (1).
3. Perpendicularité de la surface de guidage sur la surface de travail de la table	$\frac{0,1}{100}$	Equerre à vérifier; espions.
4. Planéité de la surface de travail de la table mobile	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Comme pour (1).
5. Planéité des surfaces de travail de la table de la machine et de la table mobile, réglés à la même hauteur	$\frac{0,3}{1\ 000}$	Comme pour (1).
6. Faux-rond de l'alésage conique de l'arbre porte-outils	0,04	Poinçon cylindrique de vérification, à queue conique, de 30 mm de diamètre et 350 mm de longueur. Vérification à l'aide d'un comparateur gradué en 0,002 mm.
7. Perpendicularité de l'arbre porte-outils sur la surface de travail de la table	0,06	Poinçon cylindrique et comparateur comme pour (6), bras de 200 mm monté sur le poinçon. Rotation du bras de 360°. On fait les mesures de 90 en 90°, le palpeur étant en contact avec la surface de la table.
8. Perpendicularité du plan de déplacement vertical de l'arbre porte-outils sur la surface de la table	0,05	Poinçon cylindrique et comparateur comme pour (6), placé sur la table de la machine de manière que le palpeur touche perpendiculairement la génératrice du poinçon dans un plan qui contient son axe; ainsi, l'arbre porte-outils se déplace verticalement en rendant lisibles les indicateurs du comparateur.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons de bois en essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %; la surface d'appui est rabotée plane et les chants sont perpendiculaires à la surface rabotée. Les échantillons ont les dimensions de 55 × 55 × 500 mm.		
1. Rectitude des surfaces fraisées	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Règle à vérifier; espions.
2. Perpendicularité de la surface fraisée sur la surface d'appui	$\frac{0,1}{50}$	Equerre à vérifier, ayant plus de 50 mm de côté; espions.

IIIj. Prescriptions pour défonceuses

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandation.
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table dans les trois sens (longueur, largeur, diagonale)	$\frac{0,2}{1\ 000}$	Règle à vérifier, plus longue que la dimension vérifiée; cales planes parallèles; espions.
2. Perpendicularité de l'arbre principal sur la surface de travail de la table	$\frac{0,2}{400}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm; poinçon à bras coudé, longueur du bras : 200 mm.
3. Perpendicularité du plan de déplacement de l'arbre principal sur la surface de travail de la table	$\frac{0,1}{100}$	Comparateur comme dans (2); poinçon de vérification à cône; équerre dont la longueur du côté est supérieure à la course de l'arbre; poinçon de vérification dans l'alésage de l'arbre principal. Le comparateur est fixé au poinçon de manière que le palpeur touche perpendiculairement le côté vertical de l'équerre dont la semelle repose sur la table de la machine.
4. Faux-rond de l'alésage de l'arbre principal	0,04	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm, placé sur la table de la machine; poinçon de vérification introduit dans l'alésage de l'arbre principal, qui tourne de 360°.
5. Battement frontal de la surface de l'arbre principal	0,04	Comparateur comme pour (4), placé sur la table de la machine de manière que le palpeur touche la surface frontale de l'arbre principal, qui tourne de 360°.
6. Coïncidence de l'axe de l'alésage conique de l'arbre principal et de l'axe du palpeur à copier	0,04	Comparateur comme pour (4), à support spécial, monté sur le poinçon de vérification de manière que le palpeur touche perpendiculairement la génératrice du palpeur à copier se trouvant dans sa position la plus basse. L'arbre tourne de 360° et on lit les indications extrêmes du comparateur. On répète la mesure avec le palpeur dans la position la plus haute.
7. Perpendicularité du déplacement du palpeur à copier sur la surface de travail de la table	$\frac{0,1}{100}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, à support bras monté sur le palpeur; équerre de vérification placée sur la table de la machine de manière que le palpeur touche perpendiculairement le côté vertical de l'équerre. Le palpeur se déplace sur toute la longueur; on lit les indications extrêmes.
8. Parallélisme de la surface de travail de la table et de son plan de déplacement dans les sens longitudinal et transversal	$\frac{0,1}{300}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, monté de manière que le palpeur touche perpendiculairement la surface de travail de la table. Déplacement maximal de la table dans les deux sens successivement. On lit les indications extrêmes du comparateur.
9. Perpendicularité du déplacement vertical de la table sur la surface de travail de la table	$\frac{0,1}{100}$	Comparateur et équerre comme pour (7). Vérification comme dans (7).
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons de bois en essences tendres, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %, avec faces et chants rabotés; les dimensions sont de 50 × 200 × 400 mm.		
1. Parallélisme des chants usinés de l'échantillon	$\frac{0,2}{300}$	Pied à coulisse, avec une précision de lecture de 0,05 mm.
2. Perpendicularité des chants usinés	$\frac{0,2}{300}$	Équerre de vérification, ayant plus de 300 mm de côté; espions.
3. Uniformité de l'épaisseur des chants de l'échantillon usiné	0,15	Pied à coulisse, ayant une précision de lecture de 0,05 mm.

III. Prescriptions pour machines à percer horizontales

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité de la surface de travail de la table dans les trois sens (longueur, largeur, diagonale)	$\frac{0,3}{1000}$	Règle à vérifier, plus longue que la dimension considérée; cales planes parallèles; espions.
2. Faux-rond de l'alésage de l'arbre principal	0,1	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm; poinçon de vérification à cône, ayant 150 mm de long et 20 mm de diamètre. L'arbre tourne de 360°; on lit les indications maximales du comparateur.
3. Parallélisme de l'axe de l'arbre principal et de la surface de travail de la table	0,15	Comparateur et poinçon comme dans (2). Le palpeur touche la génératrice supérieure du poinçon à l'une de ses extrémités. Le comparateur se déplace le long de l'axe du poinçon; on lit l'indication maximale.
4. Parallélisme de l'axe de l'arbre principal et du plan de déplacement transversal de la table		Comparateur et poinçon comme dans (2). Le palpeur touche perpendiculairement la génératrice du poinçon, dans un plan contenant l'axe du poinçon, d'abord verticalement, puis horizontalement. La table se déplace (transversalement) vers le poinçon. On lit les indications du comparateur.
5. Parallélisme de l'axe de l'arbre principal et du déplacement de la tête porte-outils	0,2	Comparateur et poinçon comme dans (2). Vérification comme dans (4). La tête porte-outils se déplace lentement vers la table; on lit les indications du comparateur.
6. Parallélisme de la surface de travail de la table et de son plan de déplacement longitudinal	$\frac{0,1}{100}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm. Règle à vérifier, placée sur la table, dans le sens longitudinal, sur deux cales planes parallèles de hauteur égale. Le comparateur est fixé sur l'arbre principal, de manière que le palpeur touche perpendiculairement la surface de la règle. La table se déplace dans le sens longitudinal; on lit les indications du comparateur.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons en essences tendres, sans noeuds, à fibre droite, ayant une teneur en humidité de 10 %; les faces et les chants sont rabotés et perpendiculaires les uns par rapport aux autres; les dimensions sont de 50 × 100 × 300 mm.		
1. a) Uniformité de la largeur d'un creux ayant 150 mm de long	$\frac{0,15}{100}$	Pied à coulisse, ayant une précision de lecture de 0,05 mm.
b) Parallélisme de la surface d'appui inférieure et de la surface de base de l'échantillon		
2. Exécution de trous	+0,13	Calibre tampon; mèche de 20 mm de diamètre.

III. Prescriptions pour machines à poncer à cylindres supérieurs

Objet du test	Tolérances (mm)	Remarques et recommandations
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Planéité et horizontalité des poutres soutenant le tapis en caoutchouc	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Règle à vérifier; cales planes parallèles; espions et niveau à bulle. Les mesures sont faites au milieu et aux deux extrémités des poutres.
2. Planéité de la surface de travail du tapis en caoutchouc (table de la machine)	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Règle à vérifier; cales planes parallèles; espions.
a) dans le sens de l'avance b) dans le sens transversal		
3. Parallélisme des surfaces des poutres de soutien du tapis en caoutchouc et des surfaces des traverses		Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, son support étant placé sur la surface des poutres de manière que le palpeur touche la surface des traverses supérieures. Déplacement sur la largeur de travail (b) et sur chaque poutre tout le long de la machine (a).
a) dans le sens de l'avance	a) $\frac{0,15}{1\ 000}$	
b) dans le sens transversal	b) $\frac{0,1}{1\ 000}$	
4. Parallélisme des cylindres de ponçage et de la surface de travail du tapis	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Comparateur comme dans (3), son support placé sur la table de la machine de manière que le palpeur touche la génératrice inférieure du cylindre de ponçage. Mesures sur toute la longueur du cylindre. (La bande abrasive ne sera pas montée lors des mesures.)
5. Faux-rond des cylindres de ponçage	0,04	Comparateur à cadran, gradué en 0,002 mm, son support placé sur la table de la machine en position inférieure. Palpeur comme dans (4). Le cylindre tourne de 360°; on lit les indications extrêmes du comparateur.
6. Rectitude du déplacement axial des cylindres de ponçage	0,05	Comparateur comme dans (5), son support placé sur la table de la machine en position inférieure, de manière que le palpeur touche la génératrice inférieure du cylindre (sans bande abrasive).
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons en contre-plaqué, de 5 mm d'épaisseur, dont les côtés sont respectivement égaux à 1500 mm et <i>b</i> , <i>b</i> étant la largeur de travail de la machine.		
1. Planéité de la pièce poncée	$\frac{0,1}{1\ 000}$	Règle à vérifier; espions.

1.1m. Prescriptions pour machines à poncer à bande large, à contact inférieur

<i>Objet du test</i>	<i>Tolérances (mm)</i>	<i>Remarques et recommandations</i>
<i>A. Précision géométrique</i>		
1. Horizontalité des surfaces des bords métalliques des tables d'entrée-sortie		Niveau de précision $\left(\frac{0,02}{1\ 000}\right)$
a) dans le sens de l'avance	a) $\frac{0,2}{1\ 000}$	
b) dans le sens transversal	b) $\frac{0,15}{1\ 000}$	
2. Horizontalité du cylindre de contact	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Niveau comme dans (1). Vérification des deux positions extrêmes des cylindres inférieur et supérieur; mesure du côté de la génératrice par la rotation de 90° du cylindre.
3. Faux-rond du cylindre de contact	0,03	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm, son support étant placé sur la surface de la table d'entrée ou de sortie. Le palpeur touche la surface du cylindre, qui tourne de 360°.
4. Perpendicularité des colonnes de guidage sur les surfaces des langues des tables d'entrée-sortie	$\frac{0,05}{100}$	Comparateur à cadran.
5. Parallélisme des cylindres d'avance	$\frac{0,15}{1\ 000}$	Comparateur à cadran, gradué en 0,01 mm.
<i>B. Précision d'usinage</i>		
On utilise des échantillons de panneaux de particules de 20 mm d'épaisseur, calibrés à une précision de ± 0,1 mm, ayant pour côtés 1 500 mm et <i>b</i> , <i>b</i> étant la largeur de la table de travail.		
1. Planéité de la pièce poncée	$\frac{0,1}{1\ 000}$	Règle à vérifier; espions.

Annexe IV
FICHES DE NIVEAU TECHNIQUE

IVa. Fiches pour scies alternatives verticales

Paramètre principal : diamètre intérieur du cadre à lames

Note. Le modèle le plus répandu est la scie alternative verticale à deux étages, à mécanisme de commande monté dans la partie inférieure, à deux volants et deux bielles articulées au tourillon de la traverse supérieure du cadre à lames.

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne^a</i>
Diamètre intérieur du cadre à lames (dimensions normalisées)	mm	450-560-710-850-1 000
Longueur de la course du cadre à lames (<i>H</i>) (dimensions normalisées)	mm	500 500 600 710 400-600-600-710-850
Nombre maximum de lames		16-20
Vitesse maximale (<i>n</i>) correspondant à la longueur de la course du cadre	tr/mn	360-360-320-300-250
Système d'avance		En continu, commande par variateur hydraulique ou électrique, à partir du pupitre.
Vitesse d'avance	m/mn	0-10
Vitesse moyenne de coupe ($V_n = H \times n/30$)	m/s	5-6,5
Système de levage des cylindres		Commande hydraulique, à partir du pupitre.
Système de tension des lames		Commande manuelle, mécanique ou hydraulique
Puissance installée (correspondant à l'ouverture du cadre)	kW	40-50-(75-110)-(75-110)-(75-110)

^a Les valeurs indiquées étaient valables lors de la publication du document ID WG.151-25, le 29 octobre 1973. Des progrès technologiques sont intervenus depuis lors.

IVb. Fiches pour scies à ruban pour grumes

Paramètres principaux : diamètre des volants
vitesse d'avance

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Diamètre des volants (<i>D</i>) (dimensions normalisées)	mm	1 250 ^a -1 600 ^a -2 000 ^b -2 500 ^b
Vitesse d'avance (variation continue)	m/mn	1-60-90
Vitesse de retour (<i>idem</i>)	m/mn	100-120
Vitesse de coupe ($V = \pi D \times n/60$)	m/s	40-50 (pour les essences tropicales, on prévoit deux ou trois vitesses de coupe)
Puissance installée (conformément au diamètre des volants)	kW	60-80-180 ^b 100
Détermination de l'épaisseur de la pièce débitée		Automatique, par système électropneumatique ou électrique, commandé à partir du pupitre
Actionnement des griffes		Pneumatique, hydraulique ou électromécanique, commandé à partir du pupitre
Tension de la lame		Electrique ou électro-hydraulique
Longueur maximale du chariot pour grumes (en corrélation avec <i>D</i>)	mm	6 000-10 000-14 000-16 000

Note. Entre le diamètre maximal des grumes (*Db*) à scier et le diamètre du volant (*D*), la relation est la suivante : $Db = (1,2 \dots 1,4) D$.

^a Pour essences des zones tempérées.

^b Pour essences tropicales, scies à ruban de construction spéciale.

IVc. Fiches pour scies à ruban horizontales

Paramètres principaux : diamètre des volants
vitesse d'avance

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Diamètre du volant (<i>D</i>) (dimensions normalisées)	mm	1 250-1 400-1 600-1 800-2 000
Diamètre maximal des grumes à scier (en fonction de <i>D</i>)	mm	800-1 000-1 250-1 400-1 600
Longueur maximale du chariot à grumes (en corrélation avec <i>D</i>)	mm	6 000-8 000-10 000-12 000-14 000
Vitesse de coupe	m/s	30-40
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	1-40
Vitesse de retour	m/mn	50
Levage de la traverse porte-volants		Système électrique ou hydraulique
Tension de la lame		Système électrique

IVd. Fiches pour scies à ruban à refendre

Paramètres principaux : diamètre des volants
vitesse d'avance

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Diamètre des volants	mm	1 100-1 500
Largeur maximale de la quartelle	mm	500-600
Hauteur maximale de coupe	mm	600-700
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	1-70
Vitesse de coupe	m/s	30-40
Puissance installée (selon le diamètre des volants)	kW	15-50

IVe. Fiches pour déligneuses doubles, à avance mécanique, pour sciage des résineux

Paramètre principal : largeur maximale de délignage

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Largeur maximale de délignage	mm	550-630
Largeur maximale utile	mm	700-800
Hauteur maximale de coupe	mm	120-160
Nombre maximal de lames		8-10
Diamètre maximal de la lame circulaire	mm	400-500
Vitesse de coupe	m/s	60-70
Réglage de la largeur de délignage		Système hydraulique, télécommandé
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	0-80
Puissance installée	kW	20-30

IVf. Fiches pour scies circulaires multiples à refendre, à avance mécanique

Paramètre principal : largeur maximale de la pièce d'œuvre

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur maximale du matériau	mm	400
Largeur maximale entre deux lames circulaires	mm	120-320
Hauteur maximale de coupe	mm	100-120
Nombre de lames circulaires		6-15
Vitesse de coupe	m/s	60-70
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	15-30
Puissance installée	kW	15-30

IVg. Fiches pour dégauchisseuses

Paramètre principal : largeur de coupe

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur à raboter (modèle usuel normalisé)	mm	400-500-630
Longueur totale des tables	mm	2 500
Diamètre de l'arbre porte-couteaux	mm	100-125
Vitesse de l'arbre porte-couteaux	tr/mn	5 000-6 000
Nombre de couteaux		3-4
Puissance installée	kW	3-5

IVh. Fiches pour raboteuses

Paramètre principal : largeur de travail

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur à raboter (modèle usuel normalisé)	mm	630-800-1 000
Épaisseur maximale de travail	mm	150-200
Vitesse d'avance (à variation continue ou par degrés)	m/mn	6-20
Diamètre de l'arbre porte-couteaux	mm	100-125-140
Vitesse de l'arbre porte-couteaux	tr/mn	5 000
Nombre de couteaux		3-4
Puissance installée	kW	6-10

IVi. *Fiches pour machines à raboter et moulurer sur trois ou quatre faces*

Paramètre principal : largeur de travail

Note. Le modèle représentatif de la technique la plus moderne a les caractéristiques suivantes :

Les fabricants ont généralement adopté le système « Baukasten », c'est-à-dire la réalisation de blocs opérationnels pour 2, 3 ou 4 opérations assemblées de manière appropriée:

Pour des machines du même type, les têtes des porte-outils horizontaux et verticaux sont interchangeables, car les arbres et les têtes porte-couteaux sont normalisés;

Pour actionner les arbres porte-couteaux, on utilise des moteurs électriques de haute fréquence (100 Hz) couplés directement.

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur de travail (normalisée)		
Arbre porte-couteaux en console	mm	63-80-100-160
Arbre porte-couteaux appuyé sur deux paliers	mm	200-250-315
Arbre porte-couteaux (normalisé)		
Diamètre de l'axe	mm	30-35-40-45
Diamètre de la tête porte-couteaux	mm	100-125-140
Vitesse	tr/mn	6 000
Nombre d'arbres		4-5-6
Actionnement		Convertisseur de fréquence, 100 Hz
Vitesse d'avance, à variation continue	m/mn	6-24
Système d'avance		Rouleau de pression; chenilles
Puissance installée	kW	20-35

IVj. *Fiches pour fraiseuses verticales*

Paramètres principaux : épaisseur maximale de la pièce à travailler
rotation maximale de l'axe porte-fraise

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Épaisseur maximale de la pièce à travailler (normalisée)	mm	80-100-125
Vitesse de l'axe porte-fraise (par degrés de vitesse, actionnement par moteur électrique à pôles commutables)	tr/mn	3 000 4 500 6 000 9 000
Axe porte-fraise inclinable	degrés	45
Diamètre du poinçon pour la fixation des fraises (normalisé)	mm	20-25-30
Puissance installée	kW	3-4,5

IVk. Fiches pour défonceuses

Paramètres principaux : largeur maximale du creux
vitesse maximale de l'axe porte-outils
ouverture entre l'axe porte-outils
et le bras du bâti

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Largeur maximale du creux	mm	20
Vitesse de l'axe porte-outils (actionnement par convertisseur de fréquence, $f = 300$ Hz)	tr/mn	18 000 (normal) 24 000 (maximum)
Course de la tête de fraisage	mm	150
Moteur électrique pour actionner l'outil	kW	1,0-1,5
Actionnement de l'avance de l'outil		Pneumatique
Ouverture entre l'axe porte-outils et le bras du bâti	mm	500 630

IVl. Fiches pour mortaiseuses à chaîne

Paramètres principaux : largeur maximale de l'entaille
longueur de l'entaille (course du chariot)

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Largeur maximale de l'entaille	mm	16-25-40
Course du chariot	mm	200-250-300
Actionnement de l'avance de l'outil		Pneumatique ou hydro-pneumatique
Mouvements de la table de travail		Longitudinal, transversal, inclinaison jusqu'à 45°
Puissance installée	kW	1,5-2,0

IVm. Fiches pour perceuses-mortaiseuses horizontales

Paramètre principal : diamètre maximal de la mèche

Note. Il existe des perceuses-mortaiseuses à commande manuelle pour les mouvements longitudinal et transversal de la table de travail et des perceuses-mortaiseuses en cycle semi-automatique, à commande pneumatique, hydraulique ou mécanique, pour les mouvements d'avance.

Spécifications	Unités	Valeurs dans la technique moderne
Diamètre maximal de la mèche (du trou)	mm	20-30
Profondeur maximale de perçage	mm	150-180
Largeur maximale de la mortaise (trou allongé)	mm	280-300
Fréquence des cycles de mortaisage (machines semi-automatiques)	cycles/mn	150-180
Vitesse de la mèche	tr/mn	4 500-5 000-7 500
Serrage de la pièce sur la table de travail		Pneumatique
Puissance installée	kW	1,1-2,2

IVn. Fiches pour tour longitudinal

Paramètre principaux : diamètre maximal de tournage
longueur maximale entre les centres

Note. Les données ci-après ont trait au tour normal, et non pas au tour automatique à destination spéciale. Les tours longitudinaux de construction moderne sont pourvus d'une variation continue de la vitesse de l'axe porte-outils.

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Diamètre maximal de tournage	mm	400-630-1 000
Distance maximale entre les centres	mm	1 000-1 500-2 000
Diamètre d'usinage au-dessus de la table	mm	350-500
Vitesse de l'axe porte-pièces (à variation continue ou à degrés de vitesse)	tr/mn	300-3 000
Puissance installée	kW	1,0-3,0
Avance du chariot porte-outils		Manuelle ou mécanisée et synchronisée avec la vitesse de coupe

IVo. Fiches pour ponceuses à deux ou trois cylindres supérieurs

Paramètres principaux : largeur de travail
vitesse maximale d'avance

Note. Du point de vue de la construction, il y a une nette différence entre les ponceuses à deux ou trois cylindres (ponçage fin) et les machines à trois cylindres (ponceuses-calibreuses).

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur de travail (normalisée)		
pour deux cylindres	mm	500-700-900-1 100
pour trois cylindres	mm	1 100-1 250-1 800-1 900
Diamètre des cylindres	mm	250-300
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	4-16
Vitesse périphérique du cylindre (ponçage)	m/s	22-26
Puissance installée par cylindre		
Ponçage fin	kW	8-10
Ponçage-calibrage	kW	22-30 (ébauchage) 10-14 (finissage)
Précision de ponçage-calibrage (tolérance)	mm	± 0,10

IVp. Fiches pour ponceuses à bandes larges, à contact inférieur ou à contact supérieur

Paramètres principaux : largeur de travail
vitesse d'avance

Note. Les caractéristiques techniques ont trait aux machines de ponçage fin.

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
A contact inférieur		
Largeur de travail	mm	700-1 850
Vitesse d'avance (à variation continue)	m/mn	4-30
Vitesse de ponçage	m/s	22-26
Puissance installée pour actionner la bande de ponçage	kW	15-22
Système d'oscillation de la bande		Pneumatique
A contact supérieur		
Largeur de travail	mm	700-1 850
Vitesse d'avance	m/mn	4-30
Vitesse de ponçage	m/s	22-26
Puissance installée pour actionner la bande de ponçage	kW	9-22

IVq. Fiches pour ponceuses à deux bandes larges à double contact (supérieur et inférieur)

Paramètres principaux : largeur de travail
vitesse d'avance

Note. Les spécifications ont trait aux machines pour le calibrage des panneaux.

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
Largeur de travail	mm	1 300-2 200-2 600
Vitesse d'avance	m/mn	0-45
Vitesse de ponçage	m/s	22-26
Puissance installée pour le ponçage (suivant la largeur de travail)	kW	2 × (55-100) (ébauchage) 2 × (30-55) (finissage)
Précision du ponçage-calibrage (tolérance)	mm	± 0,10

IVr. Fiches pour ponceuse à bande horizontale, à tampon ou à barre de pression

Paramètres principaux : largeur de la bande
vitesse de la bande

<i>Spécifications</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs dans la technique moderne</i>
A tampon		
Largeur de la bande (normalisée)	mm	100-150
Largeur de travail	mm	2 200-2 500
Vitesse de la bande	m/s	20-25
Longueur de la bande	mm	7 000
Nombre de bandes		1 ou 2
Puissance installée pour actionner la bande	kW	3-4
Actionnement de la table		Manuel
A barre de pression		
Largeur de la bande	mm	150-200
Vitesse de la bande	m/s	20-25
Nombre de bandes		1 ou 2
Largeur de travail	mm	2 200-2 800
Longueur de la bande	mm	7 000-10 000
Actionnement de la barre de pression		Pneumatique
Avance de la pièce (table-support)		Mécanique, par transporteur à bande, ou pneumatique, par va-et-vient à course réglable
Puissance installée pour actionner la bande	kW	4-15

III. Critères généraux pour le choix des machines*

Avant d'acheter des machines et des installations pour le travail du bois, il faut se poser les questions suivantes :

- a) Pourquoi acheter ?
- b) Que doit-on acheter ?
- c) Quand acheter ?
- d) Comment acheter ?

Pour répondre à ces questions, il faut examiner les trois composantes fondamentales de l'achat : composante technico-productive, composante économique et composante commerciale. Ce faisant, il est nécessaire de considérer l'outillage sous deux aspects : d'une part, en tant qu'entité productive (aspect dynamique); d'autre part, en tant qu'entité physique et technique (aspect statique). L'incidence du coût des investissements sur le chiffre d'affaires et les marges bénéficiaires est importante dans toutes les entreprises industrielles. La sophistication récente des machines a augmenté les coûts d'investissement, et ceux qui doivent décider de l'achat de machines et d'installations ont une tâche extrêmement délicate.

Le succès économique dans l'industrie du bois découle d'un bon équilibre entre plusieurs stratégies de production : grande efficacité, qualité constante et choix judicieux de machines chrématiques. En conséquence, on étudiera ci-après les critères permettant de décider quand, pourquoi et comment acheter les machines nécessaires à la transformation des grumes et à l'usinage du bois.

Le processus productif en général

Considérer l'outillage dans son contexte productif signifie prendre en examen un nombre important de paramètres étroitement interdépendants du système de production (annexe I). Il convient de noter que les divers stades de la transformation du bois sont considérés différemment selon les entreprises : par exemple, le contre-plaqué est un produit fini quand il s'agit d'une entreprise qui ne se consacre qu'à ce type de production, mais il n'est qu'un produit semi-fini dans une entreprise de meubles.

Le produit

Pour étudier un produit, il faut bien comprendre la relation entre sa conception, les moyens de production et les besoins du dernier utilisateur. En effet, c'est de cette relation que dépendent :

- a) Le rythme de production;
- b) L'organisation de la chaîne de production;
- c) Le type de fourniture : sur commande ou pour le commerce;
- d) Le niveau de qualité du produit pour répondre aux besoins du marché.

* Par G. L. Della Torre, ingénieur, expert en construction d'installations pour le travail du bois, Milan (Italie)
(Version revue et corrigée du document ID/WG.277/3/Rev.1.)

Taille et implantation de l'entreprise

La taille et l'implantation de l'entreprise dépendent des facteurs suivants :

- a) Ressources économiques (volant financier, chiffre d'affaires, marges bénéficiaires, programmes de recherche et de développement, etc.);
- b) Main-d'œuvre (qualifications, masse salariale, marché du travail, etc.);
- c) Aire géo-économique (climat, énergies mécaniques disponibles, infrastructures, matières premières et auxiliaires disponibles, état des communications et des transports, accès aux approvisionnements, etc.);
- d) Structure de l'entreprise et répercussions sur la gestion technico-économique des ressources.

Programmation de la production

Pour programmer la production, il faut être en mesure de prévoir les difficultés et d'établir des plans pour les surmonter. Dans le travail du bois, les temps morts peuvent être dus à une grande variété de causes : conflits du travail, agitation sociale, problèmes techniques, logistiques et financiers, etc.

Il existe plusieurs méthodes pour aider à prévenir ou à résoudre les problèmes de production. Parmi elles, il faut citer en premier lieu la recherche opérationnelle. Une autre méthode est l'utilisation des schémas tayloriens pour l'enrichissement du travail et la motivation des travailleurs. Ce faisant, on peut réduire la frustration, l'absentéisme et le renouvellement du personnel, ce qui aura pour effet final d'améliorer la qualité du travail et celle des produits.

Les nouvelles techniques spécialisées de gestion comportent la rotation des tâches, la diversification des travaux, l'enrichissement en qualifications et le travail de groupe. Il est curieux de constater que les entreprises artisanales, dont le nombre diminue malheureusement de plus en plus, ont toujours appliqué ces techniques. Au stade actuel de l'évolution de la science du management, ces techniques sont encore expérimentales et tous les théoriciens ne sont pas d'accord quant aux bénéfices réels qui peuvent en découler.

Agencement

Pour déterminer l'agencement des installations, il faut établir un diagramme de flux unique de la production (annexe II). Ce diagramme est obtenu en coordonnant et en faisant converger les cycles de travail concernant les divers groupes d'éléments qui composent le produit. Cette analyse est primordiale pour optimiser l'utilisation des machines et, partant, la production. Il faut prendre en considération les éléments mentionnés plus haut, sous « le produit », à savoir : le rythme de production, l'organisation de la chaîne de production et le niveau de qualité du produit.

C'est de ces facteurs que dépendra le choix de l'agencement; ce dernier pourra être :

- a) Fixe : par procédé (aires avec des machines homogènes), par produit (machines disposées en séquence, selon le cycle de travail), ou mixte (en tenant compte simultanément des deux possibilités précédentes);
- b) Souple.

Il ne faut pas écarter l'hypothèse, quand cela est possible et avantageux, d'un agencement comportant le déplacement, de temps à autre, de certaines machines pour que le flux de production soit le meilleur possible. Il faut toujours tenir le plus grand compte de la manutention hors machines, aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal, ainsi que du sens du flux, qui doit toujours être positif. Il va de soi que l'agencement implique, non seulement la disposition correcte des machines, mais aussi l'emplacement des divers départements de la production, des magasins, des aires de stockage, des services auxiliaires et des installations connexes. L'annexe III montre l'importance des emplacements respectifs.

Caractéristiques générales des machines

Les machines peuvent être classées en deux grandes catégories : simples, à opérations différentes. Selon le mode d'intervention de l'opérateur, elles peuvent être : manuelles, semi-automatiques, automatiques, à contrôle numérique.

Les machines les plus sophistiquées sont caractérisées par les éléments suivants :

- a) Réduction des coûts de main-d'œuvre directe;
- b) Réduction des couts pour outillages;
- c) Augmentation de la productivité;
- d) Amélioration de la qualité du produit;
- e) Diminution des déchets;
- f) Certitude de respecter les temps de travail prévus;
- g) Possibilité de confier à une seule personne la commande de plusieurs machines;
- h) Diminution de la surface au sol nécessaire.

L'intérêt de telles machines doit être jugé en fonction des éléments suivants :

- a) Rapport coût-productivité;
- b) Possibilité d'utilisation réelle élevée;
- c) Durée de vie utile de la machine, compte tenu des progrès techniques prévisibles qui peuvent rendre la machine désuète;
- d) Entretien et réparations;
- e) Temps nécessaire pour mettre la machine en service;
- f) Délai, coût et possibilités pratiques de programmation des machines à contrôle numérique;
- g) Facilité d'obtention des pièces de rechange et des outils spéciaux.

Composante technico-productive

Comme indiqué plus haut, les réponses aux quatre questions fondamentales impliquent l'examen des trois composantes de l'achat : composante technico-productive, composante économique et composante commerciale.

Ces trois composantes sont évidemment interdépendantes, mais les arguments ci-après pourront être utiles à ceux qui envisagent l'achat de machines.

Hygiène et sécurité

Les statistiques des causes d'accident montrent que 10 % sont dus au facteur technique. Les machines à travailler le bois sont extrêmement dangereuses et elles doivent donc être accompagnées de toutes les mesures possibles de sécurité. Tous les pays producteurs de machines ont des normes très précises et très strictes à ce sujet, et les machines doivent être vendues conformément à ces normes.

Parmi les considérations autres que la prévention des accidents, il faut citer :

a) Niveau sonore (annexe IV). Malheureusement, presque toutes les machines à travailler le bois ont un niveau sonore élevé. Le bruit nuit à la productivité et doit être aussi faible que possible. Le bruit assume un aspect très important dans une usine, du fait des répercussions d'ordre social et économique qui l'accompagnent. Il constitue un fardeau important et on cherche donc à le réduire à la source, c'est-à-dire sur la machine elle-même. Il faut s'efforcer également de réduire la diffusion du bruit en isolant la machine et le milieu ambiant avec des matériaux insonorisants. Un équipement de protection, tels des protège-oreilles, peut être utile;

b) Vibrations. Les vibrations ne facilitent guère un travail précis et sont à l'origine de nombreuses détériorations de machines. Le cas échéant, certaines machines doivent être équipées d'amortisseurs;

c) Protection contre les poussières, les copeaux, les fumées, les vapeurs et l'humidité. Toutes les machines doivent être équipées d'un système automatique d'évacuation;

d) Eclairage approprié de l'aire de travail;

e) Les machines doivent être dessinées de manière à éliminer ou à atténuer les saillies et les arêtes vives;

f) Organisation ergonométrique de l'ensemble « homme-machine » et chromatisme physiologique et fonctionnel pour un accès facile et instinctif aux fonctions (commandes, équipements électrique et hydraulique, zones de travail, etc.).

Outillage

Les considérations concernant l'outillage sont essentiellement l'incidence du coût d'outils spéciaux et les temps morts dus à l'outillage.

Maintenance

Parmi les considérations relatives à la maintenance, il faut citer la facilité d'entretien, l'accès aisé aux parties sujettes aux avaries et la possibilité de faire rapidement les réparations. La normalisation des éléments et des pièces détachées ainsi que la possibilité de se les procurer dans le futur sont également importantes. Le coût élevé des machines ne permet pas d'en installer en double; il est donc indispensable de maintenir élevé le rapport heures disponibles/heures travaillées.

Tout arrêt d'une machine pour réparations ou entretien est coûteux : arrêt de la production, remise en service de la machine et, éventuellement, production défectueuse lors de la reprise. Si les frais annuels de maintenance sont supérieurs à 8 % du capital investi, l'achat de la machine est à déconseiller.

La vie d'une machine comporte trois périodes. La première, dite de « mortalité infantile » est caractérisée par un taux de pannes assez élevé, mais rapidement décroissant (il s'agit surtout de défauts de fabrication). La deuxième, dite de « vie utile », est caractérisée par un taux de pannes constant; les pannes se produisent occasionnellement et indépendamment de l'âge de la machine. La troisième période, dite de « vieillesse », est caractérisée par un taux croissant de pannes, dues à l'usure.

Fiabilité et efficacité

Les pannes peuvent être dues à des défauts de :

- a) Conception (responsabilité du concepteur);
- b) Fabrication (responsabilité du constructeur);
- c) Conduite (responsabilité de l'utilisateur; incidence des conditions d'utilisation et de la maintenance).

Il importe d'assurer, dans toute la mesure du possible, la fiabilité et l'efficacité à long terme. Par fiabilité d'une machine, on entend la probabilité de fonctionnement, sans que la machine tombe en panne, pendant un nombre déterminé d'heures et dans certaines conditions opérationnelles prédéterminées.

Si T est le laps de temps moyen entre deux pannes et F la durée moyenne de l'arrêt de la machine à la suite d'une panne, l'efficacité E est donnée par le rapport : $E = \frac{T}{T + F}$. E est le pourcentage de temps pendant lequel la machine devrait fonctionner à l'abri de toute panne. Malheureusement, il est encore très difficile d'obtenir des constructeurs les valeurs ci-dessus et l'engagement technico-commercial qui en découle — qui sont très importants pour évaluer des machines coûteuses et complexes — car ce n'est que depuis peu que la plupart des constructeurs commencent à rassembler des données statistiques probantes.

Automatisation

L'automatisation a trois aspects principaux : utilisation d'automatismes fiables pour l'alimentation, le bridage, le réglage, l'avance des pièces ou des outils; possibilité d'utiliser des alimentateurs et des déchargeurs automatiques (robot ou transfert); possibilité d'utiliser des unités d'usinage universelles. Etant donné que le matériel automatisé est difficile à réparer, il est souvent plus économique d'avoir certains éléments en double, afin d'éviter les arrêts de production pendant les réparations.

Caractéristiques techniques

Les principales caractéristiques techniques d'une machine sont les suivantes :

- a) Dimensions hors-tout;
- b) Poids (utile pour juger de la stabilité et de la résistance à la fatigue de la machine);
- c) Qualité et traitement métallurgique des matériaux utilisés;

- d) Caractéristiques des moteurs électriques, du point de vue de l'alimentation et des charges prévues (herméticité, refroidissement, etc.);
- e) Dimensions des organes mobiles, ou tout au moins de ceux qui sont le plus sollicités (arbres, roulements, manchons, engrenages, etc.); lubrification et refroidissement;
- f) Instrumentation appropriée pour le contrôle de la production et du bon fonctionnement des divers organes de la machine;
- g) Pour les machines à contrôle numérique, les programmes et leur gestion.

L'annexe V donne un modèle de présentation de ces caractéristiques.

Capacité technologique

La capacité technologique définit les possibilités quantitatives et qualitatives de la machine. Parmi les opérations considérées, on peut citer : le façonnage (presses), l'enlèvement (scies, raboteuses, etc.), le revêtement des surfaces (encolleuses, vernisseuses, pulvérisateurs, etc.). Dans l'examen de la capacité technologique, il faut prêter la plus grande attention à la vitesse opérationnelle et aux tolérances de travail.

Composante économique

Investissement

Les principales considérations du point de vue de l'investissement sont les suivantes :

- a) Prix d'achat de la machine, plus les frais de transport, de douane, d'assurance, etc.;
- b) Valeur résiduelle lors du remplacement;
- c) Problèmes de socle, de fondations, d'environnement, etc.;
- d) Encombrement au sol et en hauteur;
- e) Coût d'une unité de contrôle numérique;
- f) Outillages complémentaires en option;
- g) Coût des connexions ou des modifications de l'infrastructure (installations électriques, hydrauliques, pneumatiques, etc.);
- h) Dépenses éventuelles afférentes à une modification des installations existantes et au déplacement d'autres machines;
- i) Coût des essais et de la mise en service;
- j) Coût de la formation du personnel;
- k) Taux d'amortissement (réel et fiscal).

Gestion

Les principales considérations du point de vue de la gestion sont les suivantes :

- a) Frais d'exploitation (main-d'œuvre directe et indirecte, coûts des pannes, etc.);
- b) Qualifications du personnel et rémunérations appropriées;
- c) Consommation d'énergie à parité de production;
- d) Facilité de chargement et de déchargement des pièces à usiner;
- e) Souplesse d'emploi : dimensions maximale et minimale de la pièce à usiner;
- f) Pourcentage de rejets;
- g) Caractéristiques des déchets et des pertes dues aux riblons;
- h) Coût de l'espace occupé par la machine.

Composante commerciale

Les éléments pour les pourparlers commerciaux sont donnés dans les « Conditions générales pour la fourniture et le montage des matériels d'équipement à l'importation et à l'exportation », établies sous

les auspices de la Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies (annexe VI).
Pour compléter ces conditions générales, on peut considérer ce qui suit.

Demande d'offre

Il est toujours bon de demander les caractéristiques de la fourniture et son prix, en établissant une « demande d'offre » formelle; elle sera jointe à l'« offre », à la « commande », à la « confirmation de la commande » et aux diverses notices (dépliants, dessins, etc.), pour constituer les références techniques, économiques et légales de la fourniture. En période d'augmentation des prix, comme c'est le cas actuellement, les offres doivent préciser leur durée de validité et indiquer les modalités d'augmentation éventuelle du prix.

Classification douanière

Il est bon de donner une description précise de la machine que l'on veut acheter, ne serait-ce qu'à des fins douanières. Il faut mentionner, à ce propos, l'action en cours dans divers pays pour unifier la terminologie définissant les machines à travailler le bois. Le Comité européen des constructeurs de machines à bois (EUMABOIS) a atteint un stade assez avancé dans ce travail de normalisation.

Spécifications

Dans la demande d'offre, il faut indiquer les spécifications des machines que l'on entend acheter. Le demandeur doit les rédiger lui-même ou se référer à des normes bien connues.

Documentation

Toute machine doit être accompagnée d'une documentation détaillée, rédigée dans la langue appropriée, qui comprendra notamment les pièces suivantes :

- a) Schémas d'installation;
- b) Schémas électriques;
- c) Instructions d'emploi;
- d) Manuels d'entretien;
- e) Manuels de programmation pour le contrôle numérique;
- f) Liste illustrée des pièces de rechange;
- g) Fiches de stock.

Délais de livraison

Dans le cas de plusieurs livraisons, il faut veiller à ce que chacune arrive dans l'ordre prévu. En effet, si cet ordre n'est pas dûment respecté, des pièces ou des machines risquent d'être livrées trop longtemps avant la date prévue pour leur installation ou leur montage. Elles peuvent alors subir des dommages, du fait qu'il faudra les stocker, dans leur emballage ou non, pendant un certain laps de temps. En pareil cas, des dommages pourraient être provoqués par l'oxydation, les poussières ou même le vol, ainsi que par les intempéries.

Conditions générales de livraison

L'annexe VI contient deux documents, le second étant les « Conditions générales de livraison ». Comme indiqué sous son titre, ce document a été établi en se référant aux n^{os} 188 A et 730, publiés et recommandés par la Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies. Ce document, amendé jusqu'au 1^{er} janvier 1977, est applicable lorsque des contrats sont conclus avec les membres de l'Association.

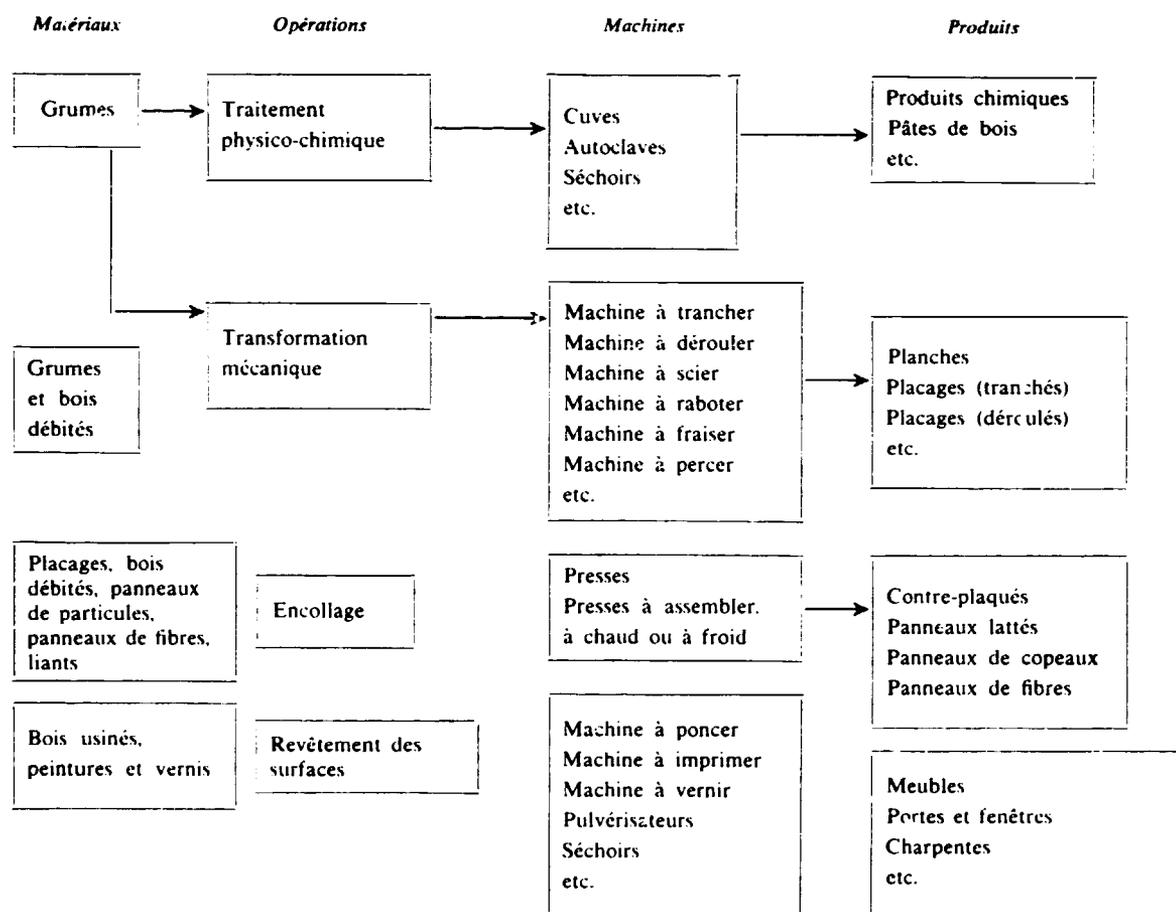
On a toutefois jugé nécessaire d'exclure de ce texte le paragraphe 1.3 qui traite de conditions spéciales applicables à un seul pays pour des travaux de montage et d'assemblage. Dans le cas des pays en développement, il paraît souhaitable qu'ils attachent une attention particulière à la teneur du document supplémentaire lorsqu'ils procèdent à des achats de machines ou de matériel.

Autres conditions générales

Outre les « Conditions générales pour la fourniture et le montage des matériels d'équipement à l'importation et à l'exportation », qui font l'objet de l'annexe VI, la Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies a fait établir, en 1953, un document intitulé : « Conditions générales pour la fourniture à l'exportation des matériels d'équipement ». Ce texte est reproduit dans l'annexe VII.

Annexe I

OPERATIONS DE TRANSFORMATION DU BOIS



Annexe II

AGENCEMENT ET DIAGRAMME DE FLUX DE PRODUCTION

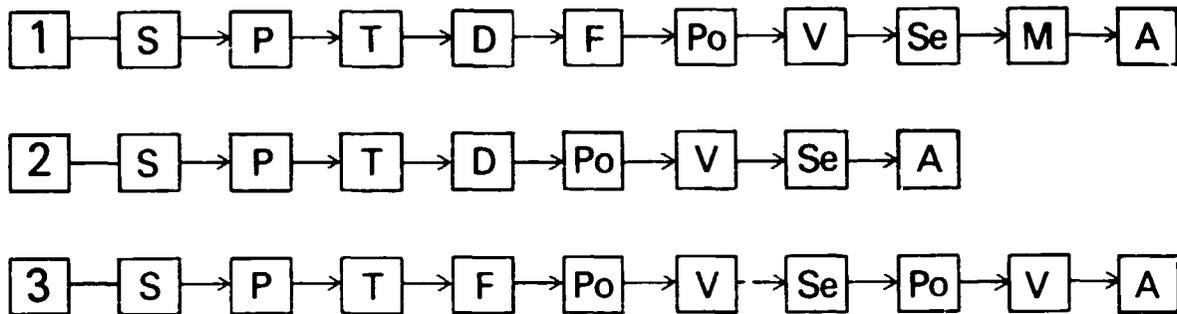
Il y a trois types principaux d'agencement :

a) Point fixe. Le matériau ou produit est immobile; on y amène l'équipement nécessaire. Les principales opérations sont faites dans une position fixe (exemples : abattage des arbres, construction navale, barrages, etc.);

b) Par procédé. Toutes les opérations d'un même type et tout l'outillage nécessaire à ces opérations sont dans une même section de l'usine. Cet agencement convient pour de petites quantités et pour des produits qui ne sont pas normalisés, car il permet une certaine souplesse dans l'enchaînement des opérations;

c) Par produit. Le produit se déplace de manière continue. Pour des opérations portant sur de grandes quantités, les diverses machines sont installées selon une chaîne fonctionnelle, en fonction des travaux successifs.

Un exemple de l'agencement par produit est donné ci-dessous. Il s'agit de la fabrication de meubles à panneaux : 1 = corps du meuble; 2 = éléments intérieurs (étagères); 3 = façade (portes et tiroirs).



S	sciage	Po	ponçage
P	pressage	V	vernissage
T	tenonnage	Se	séchage
D	encollage sur chants	M	montage du corps
F	fraisage et perçage	A	assemblage du meuble

Annexe V
FICHE MACHINE : CARACTERISTIQUES ET INSTALLATION

SCHEDA MACCHINE PER STUDI DI DISPOSIZIONE																																																																																																													
(FICHE MACHINE POUR ETUDE D'AGENCEMENT)																																																																																																													
(Description) <i>Descrizione</i>			(Services) <i>Servizi</i>			(Emplacement) <i>Dislocazione</i>																																																																																																							
<i>Macchina (Machine)</i>			(Moteur principal) <i>Motore principale</i>			(Usine) <i>Fabbrica</i> _____		(Etage) <i>Piano</i> _____		(Ouverture) <i>Campata</i> _____																																																																																																			
<i>Marca (Marque)</i>			(Phases) _____ <i>V</i> _____ <i>Fase</i>			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																																																																																																							
<i>Modello (Modèle)</i>			_____ <i>Hz</i> _____ <i>CV</i>																																																																																																										
<i>Num. catal. (Numéro du catalogue)</i>			_____ <i>tr/mn</i> _____ <i>giri/m</i>																																																																																																										
<i>Capacità (Capacité)</i>			(Com. ande électr.) <i>Apparecchiatura di comando</i>																																																																																																										
<i>Lista attrezzi (Liste d'outils)</i>			_____ <i>V</i> _____ <i>CA-CC</i>																																																																																																										
<i>N. invent. (Numéro de stock)</i>			(Entrée) <i>Aspiraz.</i>	(Gas) <i>Gas</i>																																																																																																									
<i>Disegno N. (Numéro du plan)</i>			(Eau) <i>Acqua</i>	<i>Refrig.</i>																																																																																																									
<i>Modifiche (Modification)</i>			(Sortie) <i>Scarico</i>																																																																																																										
			(Vapour) <i>Vapore</i>																																																																																																										
(Coût) <i>Costo</i> _____		(Date) <i>Data</i> _____	(Etat) <i>Condizione</i> _____	(Fondation) Oui Non <i>Fondazione</i> <input type="checkbox"/> <i>SI</i> <input type="checkbox"/> <i>NO</i>																																																																																																									
(Lungueur) <i>Lunghezza</i> _____		(Largeur) <i>Larghezza</i> _____	(Numéro du plan) <i>Disegno N.</i>			<p><i>Scala 1 : 50</i></p> <p>(Notes) <i>Note</i> _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p align="right">(Date) <i>Data</i> _____</p>																																																																																																							
(Hauteur) <i>Altezza</i> _____		(Poids) <i>Peso</i> _____	<input type="checkbox"/> (Cimentée) <i>Cementata</i>																																																																																																										
(Caractéristiques) <i>Dati caratteristici</i> _____			<input type="checkbox"/> (Boulons ancr.) <i>Bulloni d'ancoraggio</i>																																																																																																										
			<input type="checkbox"/> (Amortisseurs) <i>Ammortizzatori</i>																																																																																																										
			<input type="checkbox"/> (Antivibranti)																																																																																																										
			<input type="checkbox"/> _____																																																																																																										

**CONDITIONS GENERALES POUR LA FOURNITURE ET LE MONTAGE
DES MATERIELS D'EQUIPEMENT A L'IMPORTATION ET A L'EXPORTATION**

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'EUROPE DE L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES

Genève, mars 1957

1. Préambule

1.1. Les présentes conditions générales sont applicables, sous réserve des modifications que les deux parties pourraient leur apporter, par un accord exprès constaté par écrit.

2. Formation du contrat

2.1. Le contrat est réputé parfait lorsque, sur le vu d'une commande, le constructeur a expédié une acceptation écrite, éventuellement dans le délai fixé par l'acheteur.

2.2. Si, en formulant une proposition ferme, le constructeur a fixé un délai pour l'acceptation, le contrat est réputé parfait lorsque l'acheteur a expédié une acceptation écrite avant l'expiration du délai. Cependant, le contrat n'est formé que si cette acceptation parvient au plus tard une semaine après l'expiration du délai.

3. Plans et documents descriptifs

3.1. Les poids, dimensions, capacités, prix, rendements et autres données figurant dans les catalogues, prospectus, circulaires, annonces publicitaires, gravures et listes de prix ont le caractère d'indications approximatives. Ces données n'ont de valeur obligatoire que si le contrat s'y réfère expressément.

3.2. Les plans et documents techniques permettant la fabrication et le montage de tout ou partie de l'ouvrage^a qui sont remis à l'acheteur préalablement ou postérieurement à la conclusion du contrat demeurent la propriété exclusive du constructeur. Ils ne peuvent être, sans l'autorisation de ce dernier, ni utilisés par l'acheteur, ni recopiés, ni reproduits, ni transmis, ni communiqués à des tiers. Ces plans et documents sont la propriété de l'acheteur.

a) si une clause expresse le prévoit ou
b) s'ils se rattachent à un contrat d'étude préalable, distinct du contrat d'exécution, n'en réservant pas la propriété au constructeur.

3.3. Les plans et documents techniques permettant la fabrication et le montage de tout ou partie de l'ouvrage, remis par l'acheteur au constructeur avant ou après la conclusion du contrat, demeurent la propriété exclusive de l'acheteur. Ils ne peuvent, sans son autorisation, être utilisés par le constructeur, ni recopiés, ni reproduits, ni transmis, ni communiqués à des tiers.

3.4. Sur demande de l'acheteur, le constructeur lui fournit gratuitement au commencement de la période de garantie, telle qu'elle est définie à l'article 23, des renseignements et dessins autres que les dessins de fabrication de l'ouvrage, exécutés de façon suffisamment détaillée pour permettre à l'acheteur l'utilisation et l'entretien, y compris les réparations courantes, de toutes les parties de l'ouvrage ainsi que la mise en service, sauf dans les cas où celle-ci est confiée au constructeur en vertu du contrat. Ces renseignements et dessins deviennent la propriété de l'acheteur et les restrictions concernant leur utilisation énoncées au paragraphe 2 du présent article ne leur sont pas applicables. Le constructeur pourra néanmoins stipuler qu'ils demeureront confidentiels.

(*) Ces conditions générales sont applicables au choix des parties au même titre que les conditions générales pour la fourniture et le montage des matériels d'équipement à l'importation et à l'exportation établies à Genève en mars 1957 (n° 188 A).

Les textes français, anglais et russe font également foi.

Les observations des experts qui ont établi ces conditions générales sont consignées, ainsi qu'un exposé de la méthode de travail suivie, dans les « Commentaires sur les conditions générales pour la fourniture à l'exportation des matériels d'équipement n° 574 » (document E/ECE/220) publiés par la Commission économique pour l'Europe. Ce document peut s'obtenir à la Section des Ventes de l'Office européen des Nations Unies, Genève, Suisse, ou par l'intermédiaire des Agents dépositaires des publications des Nations Unies.

^a Dans les présentes conditions générales, on entend par « matériel » les machines, appareils, matériaux et autres objets que le constructeur doit fournir aux termes du contrat, et par « ouvrage » à la fois le « matériel » et tous les travaux que le constructeur doit effectuer aux termes du contrat.

4. Emballages

4.1. Sauf stipulation contraire,

- a) les prix indiqués dans les listes de prix et catalogues s'entendent marchandise nue,
- b) les prix figurant dans les propositions fermes et le contrat comprennent les emballages ou moyens de protection nécessaires pour éviter les détériorations dans les conditions normales de transport pour la destination énoncée au contrat.

5. Lois et règlements locaux

5.1. Si le constructeur le demande, l'acheteur l'aidera dans toute la mesure du possible à obtenir les renseignements nécessaires sur les lois et règlements locaux applicables à l'ouvrage et aux impôts et taxes y afférents.

5.2. Si, par suite d'un amendement à ces lois ou règlements, postérieur à l'offre, le coût du montage se trouve modifié, le montant de cette modification sera, selon le cas, ajouté au prix ou déduit de celui-ci.

6. Conditions de travail

6.1. A moins que le constructeur n'ait reçu de l'acheteur des informations contraires, les prix supposent remplies les conditions suivantes :

- a) les travaux n'auront pas à se dérouler sur des emplacements insalubres ou dangereux;
- b) le personnel du constructeur aura la possibilité de trouver un logement et une pension convenables et suffisants dans le voisinage de l'aire d'installation ainsi que les ressources sanitaires appropriées;
- c) le constructeur disposera sur place, en temps utile, et gratuitement sauf convention contraire, des engins de manutention, des matières consommables, de l'eau et des moyens énergétiques mentionnés au contrat;
- d) l'acheteur mettra à la disposition du constructeur, gratuitement sauf convention contraire, des locaux fermés ou gardés, situés à proximité de l'aire, lui permettant de mettre à l'abri du vol et des détériorations le matériel destiné au montage, les engins de manutention et l'outillage nécessaires ainsi que les vêtements du personnel;
- e) le constructeur n'aura pas à entreprendre de travaux de construction ou de démolition ou à prendre d'autres mesures exceptionnelles en vue du déplacement du matériel entre les points de déchargement et de montage, à moins qu'il n'ait accepté de livrer le matériel au point même du montage.

Si l'une de ces conditions n'est pas remplie, les prix feront l'objet d'une majoration.

6.2. Si, du fait que l'une ou plusieurs de ces conditions ne sont pas remplies, la situation est telle qu'il ne serait pas raisonnable d'exiger du constructeur l'exécution de l'ouvrage, le constructeur pourra s'y refuser sans préjudice de recours qui pourraient lui être ouverts.

7. Montage à l'attachement et montage à forfait

7.1. Lorsqu'il est prévu que le montage doit être payé « à l'attachement », sont facturés séparément :

- a) les frais de voyage du personnel et de transport des outils et effets personnels (dans les limites raisonnables) d'après les débours du constructeur et suivant les modes et classes de transport tels qu'ils peuvent être prévus au contrat;
- b) une indemnité journalière de déplacement pour toute la durée de l'absence du personnel de sa résidence normale, y compris les jours de repos et les jours fériés;
- c) le temps passé d'après le nombre d'heures portées sur les feuilles d'attachement signées par le client, au fur et à mesure des travaux. Les heures supplémentaires, les heures de travail des dimanches et jours fériés et des heures de nuit, sont comptées aux tarifs spéciaux mentionnés au contrat. Sauf dispositions particulières, les tarifs horaires couvrent l'usure et l'amortissement de l'outillage portatif du constructeur;
- d) le temps exigé par :
 - i) les préparatifs et formalités au départ et au retour,
 - ii) les voyages aller et retour,
 - iii) le trajet quotidien du logement au lieu de travail, matin et soir, s'il excède une demi-heure lorsqu'il n'a pas été possible de trouver un logement plus proche,
 - iv) les délais d'attente, en cas d'arrêt du travail pour des causes dont le constructeur n'est pas responsable en vertu du contrat;
- e) les dépenses engagées par le constructeur en vertu du contrat relativement à la fourniture de l'outillage, ainsi que, le cas échéant, le prix de location du gros outillage lui appartenant;
- f) les impôts et taxes que le constructeur a dû payer dans le pays du montage sur le montant des factures.

7.2. Lorsque le montage doit être payé à forfait, le prix porté au devis comprend globalement tous les éléments détaillés au paragraphe 7.1. Toutefois, si la durée du montage est prolongée pour quelque cause que ce soit du fait de l'acheteur ou de ses fournisseurs autres que le constructeur et si le travail du personnel de ce dernier s'en trouve interrompu ou augmenté, tous temps d'attente ainsi que tous travaux, toutes indemnités de séjour et tous frais de voyage supplémentaires de ce personnel seront facturés en sus.

8. Contrôle et essais du matériel

Contrôles

8.1. Si le contrat comprend une stipulation expresse à cet effet, l'acheteur est autorisé à faire contrôler et vérifier par ses représentants dûment mandatés, la qualité des matériaux utilisés et des parties du matériel, tant pendant la construction qu'après achèvement. Ces contrôles et vérifications s'effectuent sur les lieux de fabrication, pendant les heures de travail normales, après entente avec le constructeur sur le jour et l'heure.

8.2. Si ces contrôles et vérifications amènent l'acheteur à estimer que certains matériaux ou certaines parties du matériel sont défectueux ou non conformes au contrat, il doit consigner par écrit ses observations motivées.

Essais

8.3. Les essais prévus par le contrat, autres que les essais de prise en charge, sont effectués, à défaut de disposition contraire, dans les ateliers du constructeur pendant les heures de travail normales. Si les spécifications techniques n'en sont pas précisées dans le contrat, les essais s'effectuent conformément à la pratique généralement suivie pour la branche d'industrie intéressée dans le pays où le matériel est fabriqué.

8.4. Le constructeur avertit l'acheteur en lui donnant un délai suffisant pour permettre aux représentants de ce dernier d'assister aux essais. Si l'acheteur ne se fait pas représenter aux essais, le constructeur lui communique le procès-verbal d'essai dont l'acheteur ne pourra contester l'exactitude.

8.5. Si, au cours d'un essai (autre qu'un essai de prise en charge tel que prévu à l'article 21), le matériel est reconnu défectueux ou non conforme au contrat, le constructeur doit remédier au défaut en toute diligence à ses propres frais (y compris toutes dépenses de transport) ou veiller à ce que le matériel réponde aux spécifications du contrat. Si l'acheteur le désire, l'essai est répété.

8.6. Sauf stipulation contraire, le constructeur prend à sa charge toutes les dépenses afférentes aux essais effectués dans ses ateliers, à l'exception des dépenses personnelles des représentants de l'acheteur.

9. Transfert des risques

9.1. Lorsqu'aucune indication n'est donnée dans le contrat au sujet de la modalité de la vente choisie, le matériel est réputé être vendu « à l'usine ».

9.2. Sous réserve des dispositions du paragraphe 10.1, le moment du transfert des risques, à moins que les parties n'en aient disposé autrement, est déterminé comme suit :

a) Dans le cas de vente « à l'usine », les risques passent du constructeur à l'acheteur au moment où le matériel a été mis à la disposition de l'acheteur conformément au contrat, étant entendu que le constructeur doit prévenir l'acheteur par écrit de la date à partir de laquelle ce dernier pourra prendre livraison du matériel. L'avis du constructeur doit être donné suffisamment à l'avance pour permettre à l'acheteur de prendre les mesures normalement nécessaires à cet effet.

b) Dans le cas de vente FOB ou CAF, les risques passent du constructeur à l'acheteur au moment où le matériel a effectivement passé le bastingage du navire au port d'embarquement convenu.

c) Dans le cas de vente franco frontière, les risques passent de l'entrepreneur à l'acheteur au moment où sont achevées les formalités douanières du poste frontière du pays d'exportation.

d) Dans les cas prévus sous b et c ci-dessus, le constructeur doit prévenir l'acheteur de l'expédition du matériel suffisamment à l'avance pour que l'acheteur ait le temps de prendre les mesures nécessaires.

9.3. Dans les autres modalités de vente, le moment du transfert des risques sera déterminé par les parties dans leur contrat.

10. Enlèvement tardif

10.1. Si l'acheteur ne prend pas livraison du matériel à la date résultant du contrat, il est néanmoins tenu de ne pas retarder l'échéance normalement prévue pour les paiements liés à la livraison. Le constructeur pourvoit au magasinage du matériel aux frais et aux risques et périls de l'acheteur. Le matériel est assuré par le constructeur, sur requête de l'acheteur et aux frais de ce dernier. Toutefois, si le retard dans la prise de livraison est dû à l'une des circonstances prévues à l'article 25 et si le constructeur est en mesure de conserver le matériel dans ses locaux sans inconvénients pour son exploitation, les frais entraînés par le magasinage ne sont pas facturés à l'acheteur.

10.2. A moins que le défaut d'exécution de la part de l'acheteur ne soit dû à une des circonstances prévues à l'article 25, le constructeur peut inviter l'acheteur, par écrit, à prendre livraison dans un délai équitable.

Si l'acheteur, pour une raison quelconque, ne s'exécute pas dans ce délai, le constructeur a le droit, par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat en ce qui concerne la partie du matériel dont, par suite de la défaillance de l'acheteur, il n'a pas été pris livraison, et de recevoir alors de ce dernier réparation du préjudice que cette inexécution lui a causé, à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe A de l'annexe ou, à défaut d'une telle mention, à concurrence de la valeur, déterminée sur la base du contrat, de la partie du matériel en cause.

11. Paiements

11.1. Les paiements sont effectués selon les modalités fixées par les parties.

11.2. Les acomptes versés par l'acheteur sont à valoir sur le prix de la commande et ne constituent pas des arrhes dont l'abandon autoriserait les parties à se dégager du contrat.

11.3. Si la livraison a été effectuée avant le paiement de la totalité des sommes dues au titre du contrat, le matériel livré demeure la propriété du constructeur jusqu'à ce qu'il ait été payé intégralement, dans la mesure où une telle solution est admise par la loi de la situation du matériel. Si cette loi n'admet pas la réserve de propriété, le constructeur jouit de tous autres droits sur le matériel que cette loi lui permet de se réserver. L'acheteur est tenu d'apporter son concours au constructeur si celui-ci est amené à prendre des mesures destinées à protéger son droit de propriété ou, à défaut, tous autres droits sur le matériel.

11.4. Aucun paiement lié à l'exécution d'une obligation du constructeur ne peut être exigé avant cette exécution, sauf si la carence du constructeur est imputable à un fait ou à une omission de l'acheteur.

11.5. Si l'acheteur est en retard dans ses paiements, le constructeur peut suspendre l'exécution de ses propres obligations jusqu'au versement de l'arriéré, sauf si la carence de l'acheteur est imputable à un fait ou à une omission du constructeur.

11.6. Si l'acheteur est en retard dans ses paiements par suite des circonstances prévues à l'article 25, le constructeur ne peut prétendre à des intérêts moratoires.

11.7. En dehors de l'hypothèse ci-dessus, si l'acheteur est en retard dans ses paiements, le constructeur peut exiger, sur notification écrite adressée en temps utile à l'acheteur, des intérêts moratoires à compter de l'échéance, dont le taux est fixé au paragraphe B de l'annexe. Si dans un délai fixé au paragraphe C de la même annexe, l'acheteur ne s'est pas acquitté de la somme due, le constructeur a le droit, par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat et de recevoir de l'acheteur réparation du préjudice subi à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe A de cette annexe.

12. Travaux préparatoires

12.1. Le constructeur est tenu de fournir en temps utile les plans d'assises du matériel et toutes indications (relatives, sauf convention contraire, à l'ouvrage seulement) requises pour établir les fondations appropriées, pour assurer un accès convenable du matériel, ainsi que de tous les engins nécessaires au point du montage, et pour réaliser toutes les connexions nécessaires au matériel, que ces dernières doivent ou non être effectuées par le constructeur aux termes du contrat.

12.2. L'exécution des travaux préparatoires incombe à l'acheteur suivant les plans et indications mentionnés au paragraphe 1 ci-dessus et fournis par le constructeur. Elle doit être terminée en temps utile et les massifs de fondation doivent pouvoir recevoir le matériel en temps convenable. Lorsque son acheminement est à la charge de l'acheteur, le matériel devra se trouver sur place en temps utile.

12.3. Incombent au constructeur les frais résultant des erreurs ou omissions dans les plans et indications visées au paragraphe 1 du présent article, si les erreurs ou omissions se révèlent avant la prise en charge. Si elles se révèlent après la prise en charge, elles seront considérées comme un défaut de conception au sens de l'article 23.

13. Agents de liaison

13.1. Le constructeur et l'acheteur devront désigner par écrit le nom d'une personne responsable pour assurer la liaison entre eux, en ce qui concerne l'exécution au jour le jour des travaux sur place.

13.2. Ces deux agents de liaison devront se tenir à proximité de l'aire d'installation pendant les heures de travail.

14. Main-d'œuvre complémentaire

14.1. Sur la demande du constructeur, adressée en temps utile à l'acheteur, celui-ci mettra gratuitement à la disposition du constructeur la main-d'œuvre complémentaire, qualifiée ou non qualifiée, qui aura été prévue au contrat, et, dans des limites raisonnables, la main-d'œuvre complémentaire non qualifiée, même non prévue au contrat, qui s'avérerait nécessaire.

15. Consignes de sécurité

15.1. L'acheteur devra communiquer en détail au constructeur les consignes de sécurité qu'il donne à son propre personnel et le constructeur sera tenu de les faire respecter par ses préposés.

15.2. Si l'acheteur constate des infractions à ces consignes, il devra en aviser au plus tôt le constructeur par écrit et sera en droit d'interdire immédiatement l'accès de l'aire d'installation aux auteurs de ces infractions.

15.3. Le constructeur devra faire connaître en détail à l'acheteur les risques particuliers qui découlent de l'exécution des travaux.

16. Heures supplémentaires

16.1. Les parties s'entendront, s'il y a lieu, sur les conditions dans lesquelles seront effectuées les heures supplémentaires, sous réserve de se conformer aussi bien à la réglementation du pays du montage qu'à celle du pays du constructeur.

17. Travaux hors contrat

17.1. L'acheteur ne pourra pas, sans l'autorisation préalable du constructeur, employer le personnel de celui-ci à un travail étranger à l'objet du contrat. Même s'il a accordé son autorisation, le constructeur n'assumera aucunement la responsabilité de ce travail et l'acheteur assurera la sécurité du personnel du constructeur pendant qu'il est affecté audit travail.

18. Droit d'inspection du constructeur

18.1. Jusqu'à la prise en charge et pendant les travaux résultant du jeu de la garantie, le constructeur aura toujours le droit de faire inspecter l'ouvrage à ses frais pendant les heures de travail sur l'aire d'installation. En se rendant sur l'aire, les inspecteurs devront se conformer aux consignes de circulation en vigueur dans l'exploitation de l'acheteur.

19. Instruction du personnel de l'acheteur

19.1. Le contrat fixera, s'il y a lieu, les conditions dans lesquelles le constructeur assurera l'instruction du personnel de l'acheteur chargé de faire fonctionner le matériel.

20. Délais d'achèvement

20.1. Sauf stipulation contraire, les délais d'achèvement courent à partir de la dernière des dates suivantes :

- la date de formation du contrat, telle qu'elle est définie à l'article 2;
- la date à laquelle le constructeur est avisé de l'octroi d'une licence d'importation valable lorsqu'une telle licence est nécessaire pour l'exécution du contrat;
- la date de réception de l'acompte par le constructeur si le contrat en prévoit un avant la mise en fabrication.

20.2. Si l'achèvement est retardé par une des circonstances prévues à l'article 25 ou par un acte ou une omission de l'acheteur, il est accordé une prorogation du délai d'achèvement qui tient compte équitablement de toutes les circonstances. A l'exception du cas prévu au paragraphe 5 du présent article, cette disposition s'applique même si la cause du retard est survenue après l'expiration du délai contractuel.

20.3. Si le contrat prévoit un délai ferme d'achèvement, et si le constructeur n'achève pas l'ouvrage dans le délai initialement convenu ou prorogé conformément aux dispositions du paragraphe 2 du présent article, l'acheteur a le droit de demander, après notification écrite adressée en temps utile, une réduction du prix porté au contrat, à moins que l'on ne puisse raisonnablement déduire des circonstances de l'espèce qu'il n'a pas subi de préjudice. Cette réduction est égale au pourcentage, indiqué au paragraphe D de l'annexe, de la valeur déterminée sur la base du contrat, de la partie de l'ouvrage qui, par suite du défaut d'achèvement, n'a pu être utilisée comme il était prévu. Elle est calculée pour chaque semaine entière de retard à compter de la date d'achèvement résultant du contrat, sans pouvoir excéder le pourcentage maximum de la valeur susvisée qui est indiqué au paragraphe E de l'annexe. Cette réduction est réglée lors des paiements à effectuer par l'acheteur à partir de l'achèvement. Sous réserve des dispositions du paragraphe 5 du présent article, cette réduction de prix exclut tout autre dédommagement prévu en raison du défaut d'achèvement par le constructeur comme il a été indiqué plus haut.

20.4. Si le délai d'achèvement prévu au contrat n'a qu'une valeur d'indication, chacune des parties peut, après l'expiration des deux tiers de ce délai approximatif, sommer l'autre partie par écrit de convenir d'un délai ferme.

Si le contrat ne mentionne aucun délai d'achèvement, chacune des parties peut suivre la procédure précitée à l'expiration d'une période de neuf mois à compter de la formation du contrat.

Si, dans l'une ou l'autre de ces éventualités, les parties ne parviennent pas à une entente, chacune d'elles peut recourir à l'arbitrage, conformément aux dispositions de l'article 28, en vue de définir un délai d'achèvement équitable. Le délai ainsi déterminé est considéré comme étant le délai d'achèvement fixé par le contrat et les dispositions du paragraphe 3 du présent article lui sont applicables.

20.5. Si telle partie de l'ouvrage pour laquelle l'acheteur a eu droit à la réduction maximum définie au paragraphe 3 du présent article ou pour laquelle il aurait eu droit à cette réduction s'il avait adressé au constructeur la notification prévue au susdit paragraphe, n'est toujours pas achevée, l'acheteur peut, en adressant au constructeur une notification écrite, exiger l'achèvement en fixant un dernier délai, compte tenu équitablement de l'importance des retards déjà intervenus. Si, pour quelque cause que ce soit, autre qu'une cause imputable à l'acheteur ou à tout autre constructeur employé par lui, le constructeur reste en défaut de faire tout ce qui incombe pour que l'ouvrage soit achevé dans ce délai, l'acheteur a le droit, par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat en ce qui concerne cette partie de l'ouvrage et de recevoir alors du constructeur réparation du préjudice que cette inexécution lui a causé, à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe F de l'annexe ou, à défaut d'une telle mention, à concurrence de la valeur, déterminée sur la base du contrat, de la partie de l'ouvrage qui, par suite de la défaillance du constructeur, n'a pu être utilisée comme il était prévu.

21. Essais de prise en charge

21.1. Sauf convention contraire, il sera procédé à des essais de prise en charge. Dans ce cas, le constructeur devra aviser l'acheteur par écrit lorsque l'ouvrage sera prêt pour les essais, et suffisamment à l'avance pour que l'acheteur puisse prendre des mesures à cet effet. Ces essais seront contradictoires et effectués dans les conditions techniques prévues par le contrat, ou à défaut, conformément à la pratique généralement suivie par la branche d'industrie intéressée dans le pays où le matériel est fabriqué.

21.2. Si, au cours des essais de prise en charge, l'ouvrage est reconnu défectueux ou non conforme au contrat, le constructeur devra remédier en toute diligence et à ses frais au défaut constaté ou faire en sorte que l'ouvrage réponde aux spécifications du contrat. Dans ce cas, sur la demande de l'acheteur, l'essai sera répété aux frais du constructeur.

21.3. Sous réserve du paragraphe 2 du présent article, l'acheteur devra fournir gratuitement, et dans les limites raisonnables, l'énergie, les lubrifiants, l'eau, les combustibles et toutes matières à utiliser au cours du réglage et des essais de prise en charge. Il devra également installer à ses frais tout dispositif nécessaire aux opérations ci-dessus.

22. Prise en charge

22.1. Dès que l'ouvrage est terminé conformément au contrat et a subi avec succès tous les essais de prise en charge à effectuer en fin de montage, l'acheteur est réputé l'avoir pris en charge et la période de garantie commence à courir. L'acheteur devra alors remettre au constructeur une attestation, dénommée « procès-verbal de prise en charge »; il y sera précisé la date à laquelle l'ouvrage s'est trouvé terminé et a subi les essais.

22.2. Si l'acheteur s'oppose à l'exécution des essais de prise en charge, la prise en charge sera réputée avoir eu lieu et la période de garantie commencera à courir sur simple notification écrite du constructeur.

22.3. Si, par suite de difficultés éprouvées par l'acheteur, qu'elles soient ou non visées par l'article 25, il devient impossible de procéder aux essais de prise en charge, ceux-ci seront ajournés pour une période n'excédant pas la période dont conviendraient les parties, ou à défaut, un délai de six mois, et les dispositions suivantes seront applicables :

a) L'acheteur sera tenu d'effectuer les paiements comme si la prise en charge avait eu lieu. Toutefois, dans le cas de difficultés constituant une des causes d'exonération prévues au paragraphe 25.1, l'acheteur, sauf accord contraire, n'aura pas à payer au moment résultant du contrat pour la prise en charge les sommes correspondant à des travaux non encore exécutés; il n'y aura pas non plus à payer avant l'expiration de la période de garantie calculée selon le paragraphe d ci-après les sommes retenues à ce titre.

b) En temps voulu, l'acheteur notifiera par écrit au constructeur la date à partir de laquelle les essais pourraient être exécutés. Il lui demandera de fixer une nouvelle date pour ceux-ci. Cette nouvelle date sera comprise dans la période, indiquée au paragraphe G de l'annexe, qui commencera à courir à la date notifiée par l'acheteur.

c) Le constructeur pourra avant les essais et aux frais de l'acheteur procéder à la visite de l'ouvrage, et réparer tout défaut ou détérioration et toute perte survenus depuis la date à laquelle l'ouvrage était prêt à subir les essais conformément au contrat.

d) La période de garantie courra à dater du jour où les essais ajournés auront lieu avec succès.

e) Sur la demande de l'acheteur, le constructeur sera tenu d'assurer — dans le cadre des dispositions contractuelles relatives au transfert des risques — la protection et l'entretien de l'ouvrage jusqu'à l'exécution des essais, dans la limite d'un mois à partir du jour où l'ouvrage était primitivement prêt à subir les essais. L'acheteur remboursera au constructeur les frais de toutes mesures prises par celui-ci pour protéger et entretenir le matériel. A l'expiration de ce mois, les obligations du constructeur à l'égard de la protection et de l'entretien de l'ouvrage cesseront, à moins que les parties n'en disposent autrement. Si, par suite d'autres engagements, le constructeur n'est pas en mesure de laisser du personnel sur place, il donnera à l'acheteur toutes directives utiles pour permettre à celui-ci d'y pourvoir dans les meilleures conditions.

f) Si, à l'expiration du délai convenu, ou à défaut à l'expiration du délai de six mois, les essais n'ont pas eu lieu, le paragraphe 22.2 s'applique pour autant que l'article 25 n'est pas applicable.

23. Garantie

23.1. Le constructeur s'engage à remédier à tout vice de fonctionnement provenant d'un défaut dans la conception, les matières ou l'exécution, dans la limite des dispositions ci-après.

23.2. Cet engagement ne s'applique qu'aux vices qui se seront manifestés pendant la période, dite « période de garantie », dont la durée est fixée au paragraphe H de l'annexe et dont le point de départ sera la prise en charge.

23.3. Pour certaines pièces limitativement énumérées (fabriquées ou non par le constructeur), le contrat peut stipuler, le cas échéant, des périodes respectives différentes.

23.4. Par entente entre les parties, eu égard à la nature de l'ouvrage, le contrat pourra prévoir une réduction de la durée de la garantie au cas où l'utilisation de l'ouvrage serait anormalement intensive.

23.5. Les pièces de remplacement ou les pièces refaites, en vertu du présent article, sont garanties dans les mêmes termes et conditions que l'ouvrage d'origine et pour une nouvelle période égale à celle qui est prévue au pa-

paragraphe H de l'annexe. Cette disposition ne s'applique pas aux autres pièces de l'ouvrage dont la période de garantie est prorogée seulement d'une durée égale à celle pendant laquelle l'ouvrage a été immobilisé en raison d'un vice couvert par cet article.

23.6. Pour pouvoir invoquer le bénéfice de cet article, l'acheteur doit aviser sans retard et par écrit le constructeur des vices qui se sont manifestés. Il doit lui donner toute facilité pour procéder à la constatation de ceux-ci et y porter remède.

23.7. Le constructeur ainsi avisé remédie au vice en toute diligence et, sauf dans les cas mentionnés au paragraphe 8 du présent article, à ses propres frais. A moins que la nature du vice ne soit telle qu'il convienne d'effectuer la réparation sur l'aire d'installation, l'acheteur renvoie au constructeur, pour qu'il la répare ou la remplace, toute pièce dans laquelle s'est révélé un vice aux termes du présent article. En pareil cas, les obligations du constructeur découlant du présent paragraphe sont réputées remplies, en ce qui concerne ladite pièce défectueuse par la livraison à l'acheteur de ladite pièce dûment réparée ou par celle d'une pièce de remplacement.

23.8. Sauf stipulation contraire, l'acheteur prend à sa charge le coût et les risques du transport des pièces défectueuses ainsi que celui des pièces réparées ou des pièces de remplacement entre l'aire d'installation et l'un des points suivants :

- i) l'atelier du constructeur, si le contrat est conclu « départ usine » ou « franco sur wagon »;
- ii) le port d'où le constructeur a expédié le matériel, si le contrat est conclu FOB, FAS, CAF ou C & F;
- iii) la frontière du pays d'où le constructeur a expédié le matériel, dans tous les autres cas.

23.9. Lorsque, conformément au paragraphe 7 du présent article, la réparation doit avoir lieu sur l'aire d'installation, tous frais de voyage et de séjour du personnel du constructeur ainsi que tous frais et risques de transport du matériel et de l'outillage nécessaire feront, à défaut d'accord entre les parties, l'objet d'une répartition équitable par l'arbitre.

23.10. Les pièces défectueuses remplacées conformément au présent article sont mises à la disposition du constructeur.

23.11. Si le constructeur refuse d'exécuter son obligation, ou ne fait pas les diligences nécessaires en dépit d'une sommation, l'acheteur est en droit de procéder aux réparations nécessaires aux frais et risques du constructeur pourvu qu'il agisse avec discernement.

23.12. L'obligation du constructeur ne s'applique pas en cas de vice provenant soit de matières fournies par l'acheteur, soit d'une conception imposée par celui-ci.

23.13. L'obligation du constructeur ne porte que sur les vices qui se manifestent dans les conditions d'emploi prévues au contrat et en cours d'utilisation correcte. Elle ne s'applique pas aux vices dont la cause est postérieure à la prise en charge et, notamment, dans les cas de mauvais entretien par l'acheteur, de modifications sans l'accord écrit du constructeur, de réparations malencontreuses effectuées par l'acheteur ou de dégradations normales.

23.14. Après la prise en charge, et même pour les défauts dont la cause est antérieure à celle-ci, le constructeur n'assume pas de responsabilité plus étendue que les obligations définies dans le présent article. Il est de convention expresse que le constructeur ne sera tenu à aucune indemnisation envers l'acheteur pour accidents aux personnes ou dommages à des biens distincts de l'objet du contrat intervenus après la prise en charge, ni pour manque à gagner, à moins qu'il ne résulte des circonstances de l'espèce que le constructeur a commis une faute lourde.

23.15. Par « faute lourde » on entend un acte ou omission du constructeur supposant de la part de celui-ci un manque de précaution caractérisé, eu égard à la gravité des conséquences qu'en l'espèce un professionnel diligent aurait normalement prévues, ou laissant supposer un mépris délibéré de ces conséquences et non pas n'importe quel manque de soin ou d'habileté.

24. Responsabilité en cas de dommages corporels ou matériels

24.1. En cas de dommages corporels ou matériels survenus avant que l'ouvrage n'ait été intégralement pris en charge, les responsabilités se répartiront comme suit :

- a) i) le constructeur supportera toute perte ou dommage au matériel ou à l'ouvrage survenus avant que le risque n'ait été transféré et provoqué par quelque cause que ce soit, à l'exclusion d'un acte ou omission de l'acheteur;
- ii) l'entrepreneur supportera toute perte ou dommage au matériel ou à l'ouvrage, survenus après le transfert des risques, si cette perte ou ce dommage est causé par un acte ou une omission du constructeur;
- iii) si une partie du matériel ou de l'ouvrage est détruite ou endommagée pour une cause dont le constructeur n'est pas responsable aux termes des alinéas a) i) ou a) ii) du présent paragraphe, le constructeur, sur demande de l'acheteur et aux frais de ce dernier, la remplacera ou la réparera.

b) En ce qui concerne les biens de l'acheteur, autres que l'ouvrage, le constructeur sera tenu d'indemniser l'acheteur dans la mesure où ce dommage a été causé par lui-même, ou par défaillance des engins ou de l'outillage qu'il a lui-même fournis en vue du montage, s'il résulte des circonstances de l'espèce que le constructeur n'a pas usé de la diligence et de la compétence technique requises.

- ii) si la victime poursuit l'acheteur, celui-ci n'a de recours contre le constructeur que dans la mesure où le dommage a été provoqué par une des causes mentionnées à l'alinéa b) du présent paragraphe;
- iii) si la victime poursuit le constructeur, celui-ci n'a de recours contre l'acheteur que dans les limites par la loi du lieu où le dommage a été causé, pour autant qu'il n'aurait pas été lui-même tenu, en vertu de l'alinéa c) ii) ci-dessus, d'indemniser l'acheteur si les poursuites avaient été dirigées contre ce dernier.

d) En ce qui concerne les dommages aux biens des tiers, les mêmes dispositions que celles contenues à l'alinéa c) ci-dessus sont applicables.

e) Les dispositions du présent paragraphe concernant la responsabilité des parties au contrat visent également leurs préposés respectifs. Toutefois, en ce qui concerne la main-d'œuvre complémentaire fournie par l'acheteur conformément au paragraphe 14.1, le constructeur est responsable de ses ordres et instructions si ces ordres et instructions ont été incorrects, mal exprimés ou donnés à une personne qui n'était pas censée posséder les qualifications nécessaires.

24.2. Pour pouvoir se prévaloir des droits qui lui sont accordés par les alinéas c et d du paragraphe 24.1, la partie contre laquelle une réclamation a été formulée devra en informer l'autre partie et lui laisser, si celle-ci le désire, le soin de mener des négociations amiables ou d'agir en son lieu et place dans les procès engagés ou d'intervenir dans de tels procès dans la mesure où cela est admis par la loi du tribunal saisi.

24.3. Toute limitation des indemnités dues par chacune des parties aux termes du présent article sera consignée au paragraphe I de l'annexe.

24.4. Les dispositions du présent article sont également applicables lorsque le constructeur exécutera sur l'aire d'installation ses obligations résultant de l'article 23.

25. Causes d'exonération

25.1. Toutes circonstances indépendantes de la volonté des parties intervenant après la conclusion du contrat et en empêchant l'exécution dans des conditions normales sont considérées comme causes d'exonération. Sont indépendantes de la volonté des parties au sens de cette clause les circonstances qui ne résultent pas d'une faute de la partie qui les invoque.

25.2. La partie qui invoque les circonstances visées ci-dessus doit avertir par écrit sans tarder l'autre partie de leur intervention aussi bien que de leur cessation.

25.3. Les conséquences de ces circonstances quant au délai d'exécution des obligations des parties sont définies par les articles 10, 11, 20 et 22. Toutefois, si par suite de ces circonstances l'exécution du contrat dans un délai raisonnable devient impossible, mais sans préjudice cependant des dispositions des paragraphes 10.2, 11.7 et 20.5, chacune des parties a le droit de se dégager du contrat par simple notification écrite sans devoir demander la résiliation à un tribunal.

25.4. En cas de résiliation du contrat conformément au paragraphe 3 du présent article, la répartition des frais engagés pour son exécution sera établie par accord amiable entre les deux parties.

25.5. Faute d'accord amiable, il appartient à l'arbitre saisi du différend de dire quelle est la partie qui s'est trouvée empêchée d'exécuter ses obligations, et cette partie doit rembourser à l'autre le montant desdits frais, déduction faite des montants à porter à son crédit conformément au paragraphe 7 du présent article; si, au contraire, la somme à porter au crédit de la partie défaillante dépasse le montant desdits frais, cette partie est en droit de se faire rembourser le surplus.

Si l'arbitre décide que les deux parties ont été empêchées d'exécuter leurs obligations, il répartit les frais entre elles de la manière qu'il estime juste et raisonnable, compte tenu de l'ensemble des circonstances de l'espèce.

25.6. On entend par «frais», au sens du présent article, les débours effectifs raisonnablement engagés après que chaque partie aura réduit, dans la mesure du possible, les pertes subies par elle; toutefois, en ce qui concerne le matériel livré à l'acheteur, on considère comme frais du constructeur la part du prix payable en vertu du contrat qui correspond normalement à ce matériel, compte tenu de tous travaux effectués lors du montage de ce matériel.

25.7. Seront portées au crédit de l'acheteur, en déduction des frais engagés par le constructeur, toutes les sommes versées par l'acheteur au constructeur, ou qu'il doit verser à ce dernier aux termes du contrat.

Seront portées au crédit du constructeur, en déduction des frais engagés par l'acheteur, la part du prix stipulé au contrat qui correspond effectivement au matériel livré à l'acheteur ou, s'il s'agit d'un matériel incomplet, la valeur de ce matériel dans son état incomplet. Dans les deux cas, il sera tenu compte de tous travaux effectués lors du montage de ce matériel.

26. Limites des dommages-intérêts

26.1. Dans le cas où l'une des parties est tenue envers l'autre à des dommages-intérêts, ceux-ci ne peuvent excéder la réparation du préjudice que la partie fautive pouvait prévoir lors de la formation du contrat.

26.2. La partie qui invoque l'inexécution du contrat est tenue de faire toutes les diligences nécessaires afin de diminuer la perte subie, pourvu que ces diligences ne lui imposent ni inconvénient ni frais excessifs. Si elle néglige de le faire, la partie qui n'a pas exécuté le contrat peut se prévaloir de cette négligence pour demander la réduction des dommages-intérêts.

27. Résiliation

27.1. La résiliation du contrat, pour quelque cause que ce soit, ne porte pas atteinte aux créances déjà échues entre les parties.

28. Arbitrage et droit applicable

28.1. Tout différend découlant du contrat ou relatif à celui-ci est tranché définitivement par voie d'arbitrage sans recours aux tribunaux, selon la procédure fixée par les parties.

28.2. Sauf convention contraire, le contrat est régi par la loi du constructeur dans la mesure où le permet la loi du pays où l'ouvrage est exécuté.

Annexe

(à compléter par les parties)

	Paragraphes des conditions générales	
A. Montant maximum des dommages-intérêts en cas de résiliation par le constructeur pour défaut de prise de livraison ou défaut de paiement	10.2 et 11.7	_____ en monnaie du contrat
B. Taux des intérêts moratoires	11.7	_____ % l'an
C. Durée du retard dans le paiement autorisant la résiliation par le constructeur	11.7	_____ mois
D. Pourcentage de réduction par semaine de retard	20.3	_____ %
E. Pourcentage maximum des réduction ci-dessus	20.3	_____ %
F. Montant maximum des dommages-intérêts pour non-achèvement	20.5	_____ en monnaie du contrat
G. Prolongation maximum des essais de prise en charge par le constructeur	22.3	_____ semaines
H. Période de garantie pour ouvrage d'origine et pièces de remplacement ou pièces refaites	23.2 et 23.5	_____ mois
I. Montant maximum du dommage aux personnes ou aux biens	24.3	_____ en monnaie du contrat

Clause supplémentaire

REVISION DE PRIX

Si des changements de prix de matières et/ou salaires de référence interviennent au cours de l'exécution du contrat, les prix convenus sont soumis à révision d'après la formule suivante :

$$P_1 = \frac{P_0}{100} \left(a + b \frac{M_1}{M_0} + c \frac{S_1}{S_0} \right)$$

à savoir :

- P_1 = Prix final à facturer
 - P_0 = Prix initial de la marchandise stipulé au contrat et valable à la date du _____^a
 - M_1 = Moyenne^b des prix (ou indices de prix) pour _____ (nature des matières de références) pendant la période _____^c
 - M_0 = prix (ou indices de prix) pour les mêmes matières, à la date fixée ci-dessus pour P_0 .
 - S_1 = Moyenne^b des salaires (charges sociales comprises) ou indices^d de salaires (charges sociales comprises) pour _____ (préciser les catégories de main-d'œuvre et charges annexes) pendant la période _____^c
 - S_0 = salaires (charges sociales comprises) ou indices^d de salaires (charges sociales comprises) pour les mêmes catégories, à la date fixée ci-dessus pour P_0 .
- a, b, c, représentent le pourcentage forfaitairement admis des éléments particuliers dans le prix initial dont la somme est égale à 100.*

$$(a + b + c = 100)$$

- a = partie fixe = _____
- b = part des matières = _____
- c = part des salaires (charges sociales comprises) = _____

Si nécessaire, b et éventuellement c , peuvent être décomposés en autant de pourcentages partiels (b_1, b_2, b_3, \dots) qu'il y a d'éléments de variation pris en considération ($b_1 + b_2 + \dots + b_n = b$).

Documentation. Pour la détermination des valeurs des matières et des salaires, les parties entendent se référer aux documents suivants :

1. Matières : prix (ou indices de prix) de _____ (nature des matières) publiés par _____ sous les rubriques _____
2. Salaires : salaires (charges sociales comprises) et indices de salaires (charges sociales comprises) publiés par _____ rubriques _____

Modalités d'application. Le calcul du prix final se fait individuellement pour chacune des livraisons partielles lorsque celles-ci donnent lieu à facturation distincte.

Période d'application. La clause de révision joue sur le délai contractuel augmenté éventuellement des prorogations prévues au paragraphe 20.2 et limité à la date d'achèvement de l'ouvrage.

Tolérance de révision. La révision des prix n'a lieu que si le jeu de la formule conduit à une variation en plus ou en moins de _____^f

Souvenance. Si les parties désirent qu'à partir d'un certain pourcentage de variation en plus ou en moins la formule de révision soit corrigée ou remplacée par un mode de calcul plus précis, elles le stipuleront expressément.

^a Il est recommandé aux parties d'adopter dans la mesure du possible, comme prix initial, le prix valable au jour du contrat et non pas à une date antérieure. En principe, il s'agit du prix du contrat sous déduction des frais d'emballage, transport et assurances.

^b Arithmétique ou pondérée.

^c Préciser la période de référence qui peut être définie par une fraction du délai de livraison ou par sa totalité.

^d Si l'indice employé comprend les charges sociales légales, il n'y a pas lieu de tenir compte à nouveau de ces dernières.

^e Utiliser autant que possible des indices particuliers à l'industrie mécanique et électrique.

^f Indiquer en pourcentage le taux que la variation doit dépasser, en plus ou en moins, pour que la formule soit appliquée.

Conditions générales de livraison

du 1^{er} mai, 1963, texte modifié du 1^{er} janvier 1977

établies conformément aux conditions générales publiées et recommandées par la Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies. (Voir documents n^{os} 188 A et 730.)

1. Preambule

1.1 Les présentes conditions générales de livraison sont applicables pour autant que les parties contractantes n'auraient pas disposé autrement par accord exprès et écrit.

1.2 Les dispositions suivantes s'appliquent aussi bien aux fournitures de matériel qu'aux services.

2. Conclusion du contrat

2.1 Le contrat est réputé conclu lorsque, après avoir reçu la commande, le vendeur a expédié une acceptation écrite.

2.2 Pour être valables, les modifications et adjonctions apportées au contrat sont sujettes à l'acceptation écrite du vendeur. Le vendeur ne s'engage à remplir les conditions posées par l'acheteur que lorsqu'elles font l'objet d'une acceptation séparée de sa part.

2.3 Les offres du vendeur s'entendent sans engagement et sous réserve de vente intermédiaire.

2.4 Au cas où des licences d'importation et d'exportation ou des autorisations de transfert de devises ou d'autres autorisations semblables seraient requises pour l'exécution du contrat, la partie responsable de leur obtention est tenue de faire tout en son pouvoir à cet effet en temps utile.

3. Plans et documents descriptifs

3.1 Les poids, dimensions, capacités, prix, rendements et autres données figurant dans les catalogues, prospectus, circulaires, annonces publicitaires, gravures, listes de prix, etc., ne sont de caractère obligatoire que si le contrat s'y réfère expressément.

3.2 Les plans, esquisses et autres documents techniques, de même que les échantillons, catalogues, prospectus, gravures, etc., demeurent la propriété intellectuelle du vendeur. Toute exploitation, reproduction, diffusion, publication ou démonstration ne doit être faite qu'avec l'assentiment formel du propriétaire.

4. Emballages

4.1 Faute de convention contraire,

a) les prix s'entendent sans emballage;

b) les emballages sont du type commercial d'usage, faits pour éviter, dans des conditions normales, toutes détériorations du matériel pendant son transport vers le lieu de destination; ces emballages, qui sont à charge de l'acheteur, ne sont repris qu'en cas d'accord formel.

5. Transfert des risques

5.1 Le moment du transfert des risques est déterminé dans les cas suivants.

5.2 A moins d'autre convention, le matériel est réputé vendu « départ usine ».

a) dans le cas de vente « départ usine », les risques passent du vendeur à l'acheteur au moment où le matériel est mis à la disposition de l'acheteur. Le vendeur est tenu d'aviser l'acheteur de la date à partir de laquelle ce dernier peut disposer du matériel. Cet avis du vendeur doit être donné en temps opportun, permettant ainsi à l'acheteur de prendre les mesures normalement nécessaires à cet effet;

b) dans le cas de vente « sur wagon, camion, péniche (lieu d'expédition stipulé) », « frontière ou lieu de destination » ou « franco de port jusqu'à... » (« franco jusqu'à... »), les risques passent du vendeur à l'acheteur au moment où le moyen de transport avec le matériel est pris en charge par le premier voiturier;

c) dans le cas de vente « fob » ou « cif », les risques passent du vendeur à l'acheteur au moment où le matériel a, en fait, franchi le bastingage du bateau au port d'embarquement convenu.

5.3 Le vendeur n'est tenu de contracter une assurance que si l'on en est convenu par écrit.

5.4 Au reste, font foi les INCOTERMS 1953, sous leur forme valable le jour de la signature du contrat.

6. Délai de livraison

6.1 Faute de convention contraire, les délais de livraison courent à partir de la dernière des dates suivantes :

- date de l'acceptation de la commande;
- date à laquelle le vendeur est avisé de l'accomplissement de toutes les formalités d'ordre technique, commercial et financier incombant à l'acheteur;
- date de la réception, par le vendeur, d'un acompte éventuellement stipulé, à verser antérieurement à la livraison du matériel et/ou de l'ouverture d'un crédit.

6.2 Le vendeur est en droit d'effectuer des livraisons partielles et anticipées.

6.3 Au cas où la livraison serait retardée du fait du vendeur, représentant une cause d'exonération au sens de l'article 10, une prorogation raisonnable du délai de livraison sera accordée.

6.4 Dans les cas où le vendeur aurait, par sa faute, causé un retard dans la livraison, l'acheteur peut, soit demander exécution, soit se retirer du contrat après avoir accordé une prorogation raisonnable du délai de livraison. Dans le cas de fabrication spéciale, cette prorogation doit tenir compte du fait que le vendeur ne pourra utiliser ailleurs les pièces éventuellement déjà mises en œuvre.

6.5 Au cas où, par la faute du vendeur, le délai prorogé prévu à l'article 6.4 n'aurait pas été respecté, l'acheteur pourra, par un avis écrit, se retirer du contrat en ce qui concerne tout matériel non fourni encore et tout matériel qui, à lui seul, ne pourra être utilisé d'une manière convenable. Dans ce cas, l'acheteur a droit à la restitution des sommes versées pour le matériel non fourni ou non utilisable et, pour autant que le retard dans la livraison aurait été causé par une faute du vendeur, au remboursement des dépenses justifiées qu'il a dû faire en vue de l'exécution du contrat. Quant au matériel fourni et non utilisable, l'acheteur est tenu de le rendre au vendeur.

6.6 L'acheteur ne peut, du fait du retard par la faute du vendeur, formuler d'autres revendications vis-à-vis de ce dernier que celles définies par l'article 6.

6.7 Au cas où l'acheteur n'accepterait pas, aux lieu et terme stipulés, le matériel mis à sa disposition conformément au contrat et que le retard n'est pas causé par un fait ou une omission du vendeur, le vendeur pourra soit exiger l'exécution du contrat, soit s'en retirer après avoir fixé un délai pour l'acceptation.

Lorsque le matériel a été mis à part, le vendeur peut procéder à son magasinage aux frais et risques de l'acheteur. De plus, le vendeur est en droit d'exiger le remboursement de toutes les dépenses justifiées qu'il a dû faire en vue de l'exécution du contrat et qui ne sont pas comprises dans les versements déjà reçus, à l'exclusion de toutes autres revendications vis-à-vis de l'acheteur du fait du retard de celui-ci.

7. Prix

7.1 Faute de convention contraire, les prix s'entendent « départ usine », sans emballage ni chargement. En cas d'accord conclu pour livraison à domicile, les prix s'entendent sans déchargement ni transport.

7.2 Les prix sont basés sur le coût au moment de l'offre. Les variations éventuelles en plus sont à charge et celles en moins en faveur de l'acheteur.

7.3 Au cas où le prix n'est pas indiqué au contrat, est appliqué celui qui est en vigueur le jour de la livraison.

8. Paiement

8.1 Les paiements doivent être effectués conformément aux stipulations. Faute d'autres dates de paiement expressément indiquées dans le texte de l'acceptation de la commande par le vendeur, la moitié du prix d'achat est payable au reçu de l'acceptation de la commande et le solde à celui de l'avis annonçant que le matériel est prêt pour l'expédition.

8.2 L'acheteur n'est pas en droit de retenir des paiements du fait de droits à garantie ou de prétentions quelconques non reconnues par le vendeur.

8.3 Si l'acheteur est en retard dans un paiement stipulé ou une prestation quelconque, le vendeur peut, soit insister sur l'exécution du contrat;

- en suspendant l'accomplissement de ses propres engagements jusqu'à l'exécution des paiements arriérés ou des autres prestations,
- en exigeant une prorogation raisonnable du délai de livraison,
- en exigeant le paiement immédiat du solde entier du prix d'achat,

d) en comptant, à partir de la date d'échéance, des intérêts moratoires d'un pourcentage dépassant de 4 % le taux d'escompte alors en vigueur à la « Oesterreichische Nationalbank » (Banque Nationale d'Autriche), à moins qu'il n'y ait une cause d'exonération en faveur de l'acheteur au sens de l'article 10.

soit se retirer du contrat après avoir accordé une prorogation de délai raisonnable.

8.4 Si, à l'expiration du délai prorogé conformément à 8.3, l'acheteur n'a pas effectué le paiement dû ou une prestation quelconque, le vendeur peut se désister du contrat. L'acheteur est tenu, sur sommation du vendeur, de lui restituer le matériel marchand déjà fourni et de le dédommager de la moins-value du matériel, ainsi que de rembourser toutes les dépenses justifiées que le vendeur a dû faire en vue de l'exécution du contrat. Quant au matériel, le vendeur est en droit de mettre les pièces achevées ou déjà mises en œuvre à la disposition de l'acheteur et d'exiger la quote-part correspondante du prix de vente.

8.5 Jusqu'à l'accomplissement intégral de toutes les obligations financières par l'acheteur, le vendeur se réserve le droit de propriété de la chose vendue. L'acheteur est tenu de se conformer aux formalités requises pour la sauvegarde de la réserve de propriété. En cas de saisie ou d'autres revendications, l'acheteur est tenu de faire valoir le droit de propriété du vendeur et d'informer celui-ci sans tarder.

8.6 Le vendeur ne peut formuler d'autres revendications vis-à-vis de l'acheteur, du fait du retard de celui-ci, que celles définies à l'article 8.

9. Garantie et responsabilité

9.1 Le vendeur s'engage à remédier à tout vice de fonctionnement provenant d'un défaut dans la conception, les matières ou l'exécution dans la limite des dispositions ci-après.

9.2 Cet engagement ne s'applique qu'aux vices qui se seraient manifestés pendant un délai de six mois pour les entreprises travaillant avec une seule équipe, et de trois mois pour celles travaillant avec plusieurs équipes. Cette période de garantie commence soit au moment du transfert des risques, soit, en cas de livraison avec montage, à l'achèvement de celui-ci.

9.3 L'acheteur ne peut invoquer le présent article qu'à condition de notifier le vendeur, sans retard et par écrit, des vices qui se sont manifestés. Si c'est le vendeur ainsi avisé qui, en vertu des dispositions du présent article, doit remédier aux vices, il a le choix :

- a) de réparer le matériel sur les lieux;
- b) de se faire retourner le matériel ou les pièces défectueuses aux fins de réparation;
- c) de remplacer le matériel défectueux;
- d) de remplacer les pièces défectueuses.

Le fait qu'on a remédié à un vice n'entraîne pas une prorogation de la période de garantie.

9.4 Lorsque le vendeur se fait retourner le matériel ou les pièces défectueuses aux fins de réparation, l'acheteur assume, à moins d'autres stipulations, les frais et risques du transport. Sauf convention contraire, le matériel ou les pièces réparées ou remplacées sont renvoyées à l'acheteur aux frais et risques du vendeur.

9.5 Le matériel ou les pièces défectueuses remplacées, en vertu du présent article sont à la disposition du vendeur.

9.6 Si l'acheteur remédie lui-même à un vice, le vendeur n'est tenu de subvenir aux frais encourus qu'à condition d'y avoir préalablement consenti par écrit.

9.7 L'obligation de garantie du vendeur ne porte que sur les vices qui se manifestent dans des conditions d'emploi normales. Elle ne s'applique pas aux vices provenant d'une des causes suivantes : installation incorrecte par l'acheteur ou son mandataire, mauvais entretien, réparations mal exécutées ou effectuées sans l'accord écrit du vendeur, modifications faites par une autre personne que le vendeur ou son mandataire, usure normale.

9.8 Quant aux pièces fournies par un sous-traitant du vendeur, celui-ci n'en répond que dans la limite des droits à garantie lui revenant vis-à-vis du sous-traitant.

Lorsque le vendeur a fabriqué le matériel d'après conception, dessins ou modèles soumis par l'acheteur, l'obligation du vendeur ne porte pas sur la justesse de la construction mais sur la conformité de l'exécution aux indications de l'acheteur. Dans ce cas, l'acheteur est tenu d'indemniser et de satisfaire le vendeur en cas de violation des droits à la protection.

Le vendeur n'assume aucune garantie lorsqu'il se charge de réparations ou qu'il modifie ou transforme du matériel vieux ou non livré encore ou lorsqu'il livre du matériel usagé.

9.9 Dès le début de la période de garantie le vendeur n'assume aucune autre responsabilité que celle définie dans cet article, même si la cause du vice est antérieure au transfert des risques.

9.10 Il est expressément entendu que le vendeur n'est tenu de payer aucune indemnisation à l'acheteur pour accidents aux personnes, dommages à des biens ne faisant pas l'objet du contrat ou pour autres dégâts et le manque à gagner, à moins qu'il ne résulte des circonstances de l'espèce que le vendeur a commis une faute lourde.

10. Causes d'exonération

10.1 Sont considérés comme causes d'exonération, s'ils interviennent après la conclusion du contrat et en empêchent l'exécution :

les conflits de travail et toutes autres circonstances telles qu'incendie, mobilisation, réquisition, embargo, interdiction du transfert de devises, insurrection, manque de moyens de transport, manque général d'approvisionnements, restriction d'emploi d'énergie, indépendantes de la volonté des parties.

10.2 Les conséquences de ces circonstances quant aux obligations des parties sont définies par les articles 6 et 8.

11. Compétence judiciaire, loi applicable, lieu d'exécution

11.1 Le tribunal compétent pour tout litige résultant directement ou indirectement du présent contrat est celui du lieu de juridiction où se trouve le siège du vendeur.

Il est pourtant loisible au vendeur de s'adresser à un autre tribunal qui est compétent pour l'acheteur.

11.2 Les parties peuvent aussi se mettre d'accord sur la compétence d'une cour d'arbitrage.

11.3 Le contrat est régi par la loi du vendeur.

11.4 Le siège du vendeur est réputé lieu d'exécution tant pour la livraison que pour le paiement, et ce même lorsque la remise du matériel a, suivant accord conclu, lieu ailleurs.

Annexe VII

CONDITIONS GENERALES POUR LA FOURNITURE A L'EXPORTATION DES MATERIELS D'EQUIPEMENT *

établies sous les auspices de la

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'EUROPE DE L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES

Genève - Mars 1953

1. Préambule

1.1. Les présentes conditions générales sont applicables, sous réserve des modifications que les deux parties pourraient leur apporter, par un accord exprès constaté par écrit.

2. Formation du contrat

2.1. Le contrat est réputé parfait lorsque, sur le vu d'une commande, le vendeur a expédié une acceptation écrite, éventuellement dans le délai fixé par l'acheteur.

2.2. Si, en formulant une proposition ferme, le vendeur a fixé un délai pour l'acceptation, le contrat est réputé parfait lorsque l'acheteur a expédié une acceptation écrite avant l'expiration du délai. Cependant, le contrat n'est formé que si cette acceptation parvient au plus tard une semaine après l'expiration du délai.

3. Plans et documents descriptifs

3.1. Les poids, dimensions, capacités, prix, rendements et autres données figurant dans les catalogues, prospectus, circulaires, annonces publicitaires, gravures et listes de prix ont le caractère d'indications approximatives. Ces données n'ont de valeur obligatoire que si le contrat s'y réfère expressément.

* Les textes français et anglais font également foi. Les observations des experts qui ont établi ces conditions générales sont consignées, ainsi qu'un exposé de la méthode de travail suivie, dans le « Commentaire sur les conditions générales pour la fourniture à l'exportation des matériels d'équipement » publié par la Commission économique pour l'Europe. Ce document peut s'obtenir à la Section des ventes de l'Office européen des Nations Unies, Genève (Suisse) ou par l'intermédiaire des agents dépositaires des publications des Nations Unies.

3.2. Les plans et documents techniques permettant la fabrication totale ou partielle du matériel qui sont remis à l'acheteur préalablement ou postérieurement à la conclusion du contrat demeurent la propriété exclusive du vendeur. Ils ne peuvent être, sans l'autorisation de ce dernier, ni utilisés par l'acheteur, ni recopiés, ni reproduits, ni transmis, ni communiqués à des tiers. Ces plans et documents sont la propriété de l'acheteur.

- a) si une clause expresse le prévoit; ou
- b) s'ils se rattachent à un contrat d'études préalable, distinct du contrat d'exécution, n'en réservant pas la propriété au vendeur.

3.3. Les plans et documents techniques permettant la fabrication totale ou partielle du matériel, remis par l'acheteur au vendeur avant ou après la conclusion du contrat, demeurent la propriété exclusive de l'acheteur. Ils ne peuvent, sans son autorisation, être utilisés par le vendeur, ni recopiés, ni reproduits, ni transmis, ni communiqués à des tiers.

3.4. Sur demande de l'acheteur, le vendeur lui fournit gratuitement au commencement de la période de garantie, telle qu'elle est définie à l'article 9, des renseignements et dessins autres que les dessins de fabrication du matériel, exécutés de façon suffisamment détaillée pour permettre à l'acheteur l'installation, la mise en service, l'utilisation et l'entretien y compris les réparations courantes de toutes les parties du matériel. Ces renseignements et dessins deviennent la propriété de l'acheteur et les restrictions concernant leur utilisation énoncée au paragraphe 2 du présent article ne leur sont pas applicables. Le vendeur pourra néanmoins stipuler qu'ils demeureront confidentiels.

4. Emballages

4.1. Sauf stipulation contraire,

- a) les prix indiqués dans les listes de prix et catalogues s'entendent « marchandise nue »;
- b) les prix figurant dans les propositions fermes et le contrat comprennent les emballages ou moyens de protection nécessaires pour éviter des détériorations dans les conditions normales de transport pour la destination énoncée au contrat.

5. Contrôle et essais

Contrôles

5.1. Si le contrat comprend une stipulation expresse à cet effet, l'acheteur est autorisé à faire contrôler et vérifier par ses représentants dûment mandatés, la qualité des matériaux utilisés et des parties du matériel, tant pendant la construction qu'après achèvement. Ces contrôles et vérifications s'effectuent sur les lieux de fabrication, pendant les heures de travail normales, après entente avec le vendeur sur le jour et l'heure.

5.2. Si ces contrôles et vérifications amènent l'acheteur à estimer que certains matériaux ou certaines parties du matériel sont défectueux ou non conformes au contrat, il doit consigner par écrit ses observations motivées.

Essais

5.3. Les essais de réception sont effectués, à défaut de disposition contraire, dans les ateliers du vendeur pendant les heures de travail normales. Si les spécifications techniques n'en sont pas précisées dans le contrat, les essais s'effectuent conformément à la pratique généralement suivie pour le branche d'industrie intéressée dans le pays où le matériel est fabriqué.

5.4. Le vendeur avertit l'acheteur en lui donnant un délai suffisant pour permettre aux représentants de ce dernier d'assister aux essais. Si l'acheteur ne se fait pas représenter aux essais, le vendeur lui communique le procès-verbal d'essai dont l'acheteur ne pourra contester l'exactitude.

5.5. Si, au cours d'un essai (autre qu'un essai sur l'aire d'installation, lorsque de tels essais sont prévus par le contrat) le matériel est reconnu défectueux ou non conforme au contrat, le vendeur doit remédier en toute diligence au défaut ou veiller à ce que le matériel réponde aux spécifications du contrat. Si l'acheteur le désire, l'essai est répété.

5.6. Sauf stipulation contraire, le vendeur prend à sa charge toutes les dépenses afférentes aux essais effectués dans ses ateliers, à l'exception des dépenses personnelles des représentants de l'acheteur.

5.7. Si le contrat prévoit des essais sur l'aire d'installation, les conditions régissant ces essais font l'objet d'un accord spécial entre les parties.

6. Transfert des risques

6.1. Sous réserve des dispositions du paragraphe 7.6, le moment du transfert des risques est déterminé conformément aux Règles internationales pour l'interprétation des termes commerciaux (Incoterms) de la Chambre de Commerce Internationale, en vigueur au jour de la formation du contrat.

Lorsqu'aucune indication n'est donnée dans le contrat au sujet de la modalité de la vente choisie, le matériel est réputé être vendu « à l'usine ».

6.2. Dans le cas de vente « à l'usine » le vendeur doit prévenir l'acheteur par écrit de la date à laquelle ce dernier est tenu de prendre livraison du matériel. L'avis du vendeur doit être donné suffisamment à l'avance pour permettre à l'acheteur de prendre les mesures normalement nécessaires à cet effet.

7. Délais de livraison

7.1. Sauf stipulation contraire, les délais de livraison courent à partir de la dernière des dates suivantes :

- a) la date de formation du contrat, telle qu'elle est définie à l'article 2;
- b) la date à laquelle le vendeur est avisé de l'octroi d'une licence d'importation valable, lorsqu'une telle licence est nécessaire pour l'exécution du contrat;
- c) la date de réception de l'acompte par le vendeur si le contrat en prévoit un avant la mise en fabrication.

7.2. Si la livraison est retardée par une des circonstances prévues à l'article 10 ou par un acte ou une omission de l'acheteur, il est accordé une prorogation du délai de livraison qui tient compte équitablement de toutes les circonstances. A l'exception du cas prévu au paragraphe 5 du présent article, cette disposition s'applique même si la cause du retard est survenue après l'expiration du délai contractuel.

7.3. Si le contrat prévoit un délai ferme de livraison, et si le vendeur n'effectue pas la livraison dans le délai initialement convenu ou prorogé conformément aux dispositions du paragraphe 2 du présent article, l'acheteur a le droit de demander après notification écrite adressée en temps utile, une réduction du prix porté au contrat, à moins que l'on ne puisse raisonnablement déduire des circonstances de l'espèce qu'il n'a pas subi de préjudice. Cette réduction est égale au pourcentage, indiqué au paragraphe A de l'annexe, de la valeur déterminée sur la base du contrat, de la partie du matériel qui, par suite du défaut de livraison, n'a pu être utilisée comme il était prévu. Elle est calculée pour chaque semaine entière de retard à compter de la date de livraison résultant du contrat, sans pouvoir excéder le pourcentage maximum de la valeur susvisée qui est indiqué au paragraphe B de l'annexe. Cette réduction est réglée lors des paiements à effectuer par l'acheteur à partir de la livraison. Sous réserve des dispositions du paragraphe 5 du présent article, cette réduction de prix exclut tout autre dédommagement prévu en raison du défaut de livraison par le vendeur comme il a été indiqué plus haut.

7.4. Si le délai de livraison prévu au contrat n'a qu'une valeur d'indication, chacune des parties peut, après l'expiration des deux tiers de ce délai approximatif, sommer l'autre partie par écrit de convenir d'un délai ferme.

Si le contrat ne mentionne aucun délai de livraison, chacune des parties peut suivre la procédure précitée à l'expiration d'une période de six mois à compter de la formation du contrat.

Si, dans l'une ou l'autre de ces éventualités, les parties ne parviennent pas à une entente, chacune d'elles peut recourir à l'arbitrage, conformément aux dispositions de l'article 13, en vue de définir un délai de livraison équitable. Le délai ainsi déterminé est considéré comme étant le délai de livraison fixé par le contrat et les dispositions du paragraphe 3 du présent article lui sont donc applicables.

7.5. Si telle partie du matériel pour laquelle l'acheteur a eu droit à la réduction maximum définie au paragraphe 3 du présent article ou pour laquelle il aurait eu droit à cette réduction s'il avait adressé au vendeur la notification prévue au susdit paragraphe du présent article, n'est toujours pas livrée, l'acheteur peut, en adressant au vendeur une notification écrite, exiger la livraison en fixant un dernier délai, compte tenu équitablement de l'importance des retards déjà intervenus. Si, pour quelque cause que ce soit, le vendeur reste en défaut de faire tout ce qui lui incombe pour que le matériel soit livré dans ce délai, l'acheteur a le droit, par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat en ce qui concerne cette partie du matériel, et de recevoir alors du vendeur réparation du préjudice que cette inexécution lui a causé, à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe C de l'annexe ou, à défaut d'une telle mention, à concurrence de la valeur, déterminée sur la base du contrat, de la partie du matériel qui, par suite de la défaillance du vendeur, n'a pu être utilisée comme il était prévu.

7.6. Si l'acheteur ne prend pas livraison à la date résultant du contrat, il est néanmoins tenu de ne pas retarder l'échéance normalement prévue pour les paiements liés à la livraison. Le vendeur pourvoit au magasinage du matériel aux frais et aux risques et périls de l'acheteur. Le matériel est assuré par le vendeur, sur requête de l'acheteur, et aux frais de ce dernier. Toutefois, si le retard dans la prise de livraison est dû à l'une des circonstances prévues à l'article 10 et si le vendeur est en mesure de conserver le matériel dans ses locaux sans inconvénient pour son exploitation, les frais entraînés par le magasinage ne sont pas facturés à l'acheteur.

7.7. A moins que le défaut d'exécution de la part de l'acheteur ne soit dû à l'une des circonstances prévues à l'article 10 le vendeur peut inviter l'acheteur par écrit, à prendre livraison dans un délai équitable.

Si l'acheteur, pour une raison quelconque, ne s'exécute pas dans ce délai, le vendeur a le droit, par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat en ce qui concerne la partie du matériel dont, par suite de la défaillance de l'acheteur, il n'a pas été pris livraison, et de recevoir alors de ce dernier, réparation du préjudice que cette inexécution lui a causé, à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe D de l'annexe ou, à défaut d'une telle mention, à concurrence de la valeur déterminée sur la base du contrat, de la partie du matériel en cause.

8. Paiements

8.1. Les paiements sont effectués selon les modalités fixées par les parties.

8.2. Les acomptes versés par l'acheteur sont à valoir sur le prix de la commande et ne constituent pas des arrhes dont l'abandon autoriserait les parties à se dégager du contrat.

8.3. Si la livraison a été effectuée avant le paiement de la totalité des sommes dues au titre du contrat, le matériel livré demeure la propriété du vendeur jusqu'à ce qu'il ait été payé intégralement, dans la mesure où une telle solution est admise par la loi de la situation du matériel. Si cette loi n'admet pas la réserve de propriété, le vendeur jouit de tous autres droits sur le matériel que cette loi lui permet de se réserver. L'acheteur est tenu d'apporter son concours au vendeur si celui-ci est amené à prendre des mesures destinées à protéger son droit de propriété ou à défaut tous autres droits sur le matériel.

8.4. Aucun paiement lié à l'exécution d'une obligation du vendeur ne peut être exigé avant cette exécution, sauf si la carence du vendeur est imputable à un fait ou à une omission du vendeur.

8.5. Si l'acheteur est en retard dans ses paiements, le vendeur peut suspendre l'exécution de ses propres obligations jusqu'au versement de l'arriéré, sauf si la carence de l'acheteur est imputable à un fait ou à une omission du vendeur.

8.6. Si l'acheteur est en retard dans ses paiements par suite des circonstances prévues à l'article 10, le vendeur ne peut prétendre à des intérêts moratoires.

8.7. En dehors de l'hypothèse ci-dessus, si l'acheteur est en retard dans ses paiements, le vendeur peut exiger, sur notification écrite adressée en temps utile à l'acheteur, des intérêts moratoires à compter de l'échéance, dont le taux est fixé au paragraphe E de l'annexe. Si dans un délai fixé au paragraphe F de la même annexe, l'acheteur ne s'est pas acquitté de la somme due, le vendeur a le droit par simple lettre missive et sans devoir demander la résiliation à un tribunal, de se dégager du contrat et de recevoir de l'acheteur réparation du préjudice subi à concurrence de la somme mentionnée au paragraphe D de cette annexe.

9. Garantie

9.1. Le vendeur s'engage à remédier à tout vice de fonctionnement provenant d'un défaut dans la conception, les matières ou l'exécution dans la limite des dispositions ci-après.

9.2. Cet engagement ne s'applique qu'aux vices qui se seront manifestés pendant la période (dite ci-après « période de garantie ») dont la durée est fixée au paragraphe G de l'annexe.

9.3. Pour la détermination de cette durée, il est dûment tenu compte du temps normal du transport envisagé.

9.4. Pour certaines pièces limitativement énumérées (fabriquées ou non par le vendeur), le contrat peut stipuler, le cas échéant, des périodes respectives différentes.

9.5. La période de garantie court du jour auquel l'acheteur est avisé par notification écrite du vendeur que le matériel est prêt à quitter l'usine. Si l'expédition est différée, la période de garantie est prolongée de la durée du retard, de manière à permettre à l'acheteur de bénéficier pleinement du temps d'épreuve du matériel. Toutefois, si ce retard tient à une cause indépendante de la volonté du vendeur, la prolongation ne peut dépasser le nombre de mois fixé au paragraphe H de l'annexe.

9.6. Au paragraphe I de l'annexe sont fixées la durée quotidienne d'utilisation du matériel ainsi que la réduction de la période de garantie en cas d'utilisation plus intensive.

9.7. Les pièces de remplacement ou les pièces refaites, en vertu du présent article, sont garanties dans les mêmes termes et conditions que le matériel d'origine et pour une nouvelle période égale à celle prévue au paragraphe G de l'annexe. Cette disposition ne s'applique pas aux autres pièces du matériel dont la période de garantie est prorogée seulement d'une durée égale à celle pendant laquelle le matériel a été immobilisé en raison d'un vice couvert par cet article.

9.8. Pour pouvoir invoquer le bénéfice de cet article, l'acheteur doit aviser sans retard et par écrit le vendeur des vices qui se sont manifestés. Il doit lui donner toute facilité pour procéder à la constatation de ceux-ci et y porter remède.

9.9. Le vendeur ainsi avisé remédie au vice en toute diligence et, sauf dans les cas mentionnés au paragraphe 10 du présent article, à ses propres frais. A moins que la nature du vice ne soit telle qu'il convienne d'effectuer la réparation sur l'aire d'installation, l'acheteur renvoie au vendeur, pour qu'il la répare ou la remplace, toute pièce dans laquelle s'est révélé un vice aux termes du présent article. En pareil cas, les obligations du vendeur découlant du présent paragraphe sont réputées remplies, en ce qui concerne ladite pièce défectueuse, par la livraison à l'acheteur de ladite pièce dûment réparée ou par celle d'une pièce de remplacement.

9.10. Sauf stipulation contraire, l'acheteur prend à sa charge le coût et les risques du transport des pièces défectueuses ainsi que celui des pièces réparées ou des pièces de remplacement entre l'aire d'installation et l'un des points suivants :

- a) l'atelier du vendeur, si le contrat est conclu « départ usine » ou « franco sur wagon »;
- b) le port d'où le vendeur a expédié le matériel, si le contrat est conclu FOB, FAS, CAF ou CF;
- c) la frontière du pays d'où le vendeur a expédié le matériel, dans tous les autres cas.

9.11. Lorsque, conformément au paragraphe 9 du présent article, la réparation doit avoir lieu sur l'aire d'installation, les dispositions relatives à la présence des agents du vendeur font l'objet d'un accord spécial entre les parties.

9.12. Les pièces défectueuses remplacées conformément à la présente clause sont mises à la disposition du vendeur.

9.13. Si l'acheteur refuse d'exécuter son obligation ou ne fait pas les diligences nécessaires en dépit d'une sommation, l'acheteur est en droit de procéder aux réparations nécessaires aux frais et risques du vendeur pourvu qu'il agisse avec discernement.

9.14. L'obligation du vendeur ne s'applique pas en cas de vice provenant soit de matières fournies par l'acheteur soit d'une conception imposée par celui-ci.

9.15. L'obligation du vendeur ne porte que sur les vices qui se manifestent dans les conditions d'emploi prévues au contrat et en cours d'utilisation correcte. Elle ne s'applique pas aux vices dont la cause est postérieure au transfert des risques du matériel et, notamment, dans les cas de mauvais entretien, de mauvaise installation par l'acheteur, de modifications sans l'accord écrit du vendeur, de réparations malencontreuses effectuées par l'acheteur ou de dégradations normales.

9.16. A partir du transfert des risques aux termes de l'article 6, et même pour les défauts dont la cause est antérieure à ce transfert, le vendeur n'assume pas de responsabilité plus étendue que les obligations définies dans le présent article. Il est de convention expresse que le vendeur ne sera tenu à aucune indemnisation envers l'acheteur pour accidents aux personnes, dommages à des biens distincts de l'objet du contrat ou manque à gagner à moins qu'il ne résulte des circonstances de l'espèce que le vendeur a commis une faute lourde.

9.17. Par « faute lourde » on entend un acte ou omission du vendeur supposant de la part de celui-ci un manque de précaution caractérisé, eu égard à la gravité des conséquences, qu'en l'espèce un professionnel diligent aurait normalement prévues, ou laissant supposer un mépris délibéré de ses conséquences et non pas n'importe quel manque de soin ou d'habileté.

10. Causes d'exonération

10.1. Sont considérés comme cause d'exonération s'ils interviennent après la conclusion du contrat et en empêchent l'exécution : les conflits du travail et toutes autres circonstances telles qu'incendie, mobilisation, réquisition, embargo, interdiction de transfert de devises, insurrection, manque de moyens de transport, manque général d'approvisionnements, restrictions d'emploi d'énergie lorsque ces autres circonstances sont indépendantes de la volonté des parties.

10.2. La partie qui invoque les circonstances visées ci-dessus doit avertir par écrit sans tarder l'autre partie de leur intervention aussi bien que leur cessation.

10.3. Les conséquences de ces circonstances quant au délai d'exécution des obligations des parties sont définies par les articles 7 et 8. Toutefois, si par suite de ces circonstances l'exécution du contrat dans un délai raisonnable devient impossible, mais sans préjudice cependant des dispositions des paragraphes 7.5, 7.7 et 8.7, chacune des parties a le droit de se dégager du contrat par simple notification écrite sans devoir demander la résiliation à un tribunal.

10.4. En cas de résiliation du contrat conformément au paragraphe 3 du présent article, la répartition des frais engagés pour son exécution sera établie par accord amiable entre les parties.

10.5. Faute d'accord amiable, il appartient à l'arbitre saisi du différend de dire quelle est la partie qui s'est trouvée empêchée d'exécuter ses obligations et cette partie doit supporter l'ensemble desdits frais. Si l'acheteur est tenu de supporter l'ensemble desdits frais et a déjà versé au vendeur, avant la résiliation du contrat, une somme supérieure aux frais engagés par ce dernier, il est en droit de se faire rembourser le surplus.

Si l'arbitre décide que les deux parties ont été empêchées d'exécuter leurs obligations, il répartit les frais entre elles de la manière qu'il estime juste et raisonnable, compte tenu de l'ensemble des circonstances de l'espèce.

10.6. On entend par « frais », au sens du présent article, les débours effectifs raisonnablement engagés après que chaque partie aura réduit, dans la mesure du possible, les pertes subies par elle; toutefois, en ce qui concerne le matériel livré à l'acheteur, on considère comme frais du vendeur la part du prix payable en vertu du contrat qui correspond normalement à ce matériel.

11. Limites des dommages-intérêts

11.1. Dans le cas où l'une des parties est tenue envers l'autre à des dommages-intérêts, ceux-ci ne peuvent excéder la réparation du préjudice que la partie fautive pouvait prévoir lors de la formation du contrat.

11.2. La partie qui invoque l'inexécution du contrat est tenue de faire toutes les diligences nécessaires afin de diminuer la perte subie pourvu que ces diligences ne lui imposent ni inconvénients ni frais excessifs. Si elle néglige de le faire, la partie qui n'a pas exécuté le contrat peut se prévaloir de cette négligence pour demander la réduction des dommages-intérêts.

12. Résiliation

12.1. La résiliation du contrat, pour quelque cause que ce soit, ne porte pas atteinte aux créances déjà échues entre les parties.

13. Arbitrage et droit applicable

13.1. Toutes contestations découlant du contrat sont tranchées définitivement suivant le Règlement de conciliation et d'arbitrage de la Chambre de Commerce internationale par un ou plusieurs arbitres nommés conformément à ce Règlement.

13.2. Le contrat est régi par la loi du vendeur, à moins que les parties n'en aient stipulé autrement.

13.3. Les arbitres ne statuent en amiables compositeurs que si les parties en conviennent expressément.

Annexe

(à compléter par les parties)

	<i>Paragraphes des conditions générales</i>		
A. Pourcentage de réduction par semaine de retard	7.3	_____	%
B. Pourcentage maximum des réductions ci-dessus	7.3	_____	%
C. Montant maximum des dommages-intérêts pour non-livraison	7.5	_____	en monnaie du contrat
D. Montant maximum des dommages-intérêts en cas de résiliation par le vendeur pour défaut de prise de livraison ou défaut de paiement	7.7 et 8.7	_____	en monnaie du contrat
E. Taux des intérêts moratoires	8.7	_____	% l'an
F. Durée du retard dans le paiement autorisant la résiliation par le vendeur	8.7	_____	mois
G. Période de garantie pour matériel d'origine et pièces de remplacement ou pièces refaites	9.2 et 9.7	_____	mois
H. Prolongation maximum de la période de garantie . . .	9.5	_____	mois
I. 1) Durée quotidienne d'utilisation du matériel	9.6	_____	heures par jour
2) Réduction de la période de garantie en cas d'utilisation plus intensive	9.6	_____	heures par jour

Clause supplémentaire

REVISION DE PRIX

Si des changements de prix de matières et/ou salaires de référence interviennent au cours de l'exécution du contrat, les prix convenus sont soumis à révision d'après la formule suivante :

$$P_1 = \frac{P_0}{100} \left(a + b \frac{M_1}{M_0} + c \frac{S_1}{S_0} \right)$$

à savoir :

- P_1 = prix final à facturer
 - P_0 = prix initial de la marchandise stipulé au contrat et valable à la date du _____^a
 - M_1 = moyenne^b des prix (ou indices de prix) pour _____ (nature des matières de références) pendant la période _____^c
 - M_0 = prix (ou indices de prix) pour les mêmes matières, à la date fixée ci-dessus pour P_0 .
 - S_1 = moyenne^b des salaires (charges sociales comprises) ou indices^d de salaires (charges sociales comprises) pour _____ (préciser les catégories de main-d'œuvre et charges annexes) pendant la période _____^c
 - S_0 = salaires (charges sociales comprises) ou indices^d de salaires (charges sociales comprises) pour les mêmes catégories, à la date fixée ci-dessus pour P_0
- a, b, c , représentent le pourcentage forfaitairement admis des éléments particuliers dans le prix initial dont la somme est égale à 100.

$$(a + b + c = 100)$$

- a = partie fixe = _____
- b = part des matières = _____
- c = part des salaires (charges sociales comprises) = _____

Si nécessaire, b , et éventuellement c , peuvent être décomposés en autant de pourcentages partiels (b_1, b_2, b_3, \dots) qu'il y a d'éléments de variation pris en considération ($b_1 + b_2 + \dots + b_n = b$).

Documentation. Pour la détermination des valeurs des matières et des salaires, les parties entendent se référer aux documents suivants :

1. Matières : prix (ou indices de prix) de _____ (nature des matières) publiés par _____ sous les rubriques _____
2. Salaires : salaires (charges sociales comprises) ou indices de salaires (charges sociales comprises) publiés par _____ sous les rubriques _____

Modalités d'application. Le calcul du prix final se fait individuellement pour chacune des livraisons partielles lorsque celles-ci donnent lieu à facturation distincte.

Période d'application. La clause de révision joue sur le délai contractuel augmenté éventuellement des prorogations prévues au paragraphe 7.2 et limité à la date d'achèvement de l'ouvrage.

Tolérance de révision. La révision des prix n'a lieu que si le jeu de la formule conduit à une variation en plus ou en moins de _____^f

Sauvegarde. Si les parties désirent qu'à partir d'un certain pourcentage de variation en plus ou en moins la formule de révision soit corrigée ou remplacée par un mode de calcul plus précis, elles le stipuleront expressément.

^a Il est recommandé aux parties d'adopter dans la mesure du possible, comme prix initial, le prix valable au jour du contrat et non pas à une date antérieure. En principe, il s'agit du prix du contrat sous déduction des frais d'emballage, transport et assurances.

^b Arithmétique ou pondérée.

^c Préciser la période de référence qui peut être définie par une fraction du délai de livraison ou par sa totalité.

^d Si l'indice employé comprend les charges sociales légales, il n'y a pas lieu de tenir compte à nouveau de ces dernières.

^e Utiliser autant que possible des indices particuliers à l'industrie mécanique et électrique.

^f Indiquer en pourcentage le taux que la variation doit dépasser, en plus ou en moins, pour que la formule soit appliquée.

IV. Méthodologie pour l'achat des machines à bois*

Dans les pays en développement, l'industrie du meuble est souvent aux mains de petits entrepreneurs qui ont débuté comme artisans, ont prospéré et ont développé leurs activités en achetant des machines pour accroître la productivité. Malheureusement, ils raisonnent encore en artisans et non en industriels, comme le montre clairement la façon dont ils prennent des décisions dans les domaines suivants : gamme de production, méthodes de fabrication, commercialisation, évaluation des coûts et, surtout, choix du matériel.

Le présent chapitre traite uniquement de ce dernier point. De l'avis de l'ONUDI, il s'agit là d'un domaine dans lequel l'industrie du meuble et de la menuiserie des pays en développement est très en retard sur celle des pays développés. Dans les pays en développement, il arrive trop souvent que des industriels achètent des machines ou des ensembles de machines qui ne conviennent pas. Cela se traduit, pour l'économie nationale, par un gaspillage de devises rares et, pour l'entreprise, par un mauvais investissement des fonds disponibles, ce qui nuit à sa rentabilité générale. Dans les pays en développement, ce sont les ressources financières qui font le plus défaut, de sorte que tout mauvais investissement compromet la rentabilité d'une entreprise pendant toute la durée de vie de la machine. L'industrie de ces pays n'étant pas développée, les fabricants en savent davantage les uns sur les autres que dans les pays industrialisés où ils sont plus nombreux et se connaissent moins bien. Une fois qu'une mauvaise décision a été prise, il est donc plus difficile dans un pays en développement que dans un pays industrialisé de se défaire d'une machine qui ne convient pas.

Malgré la pénurie de capitaux, davantage d'erreurs sont faites dans les pays en développement pour les raisons suivantes :

- a) Ignorance des besoins;
- b) Ignorance des machines disponibles;
- c) Ignorance des exigences propres au bois usiné;
- d) Non-prise en considération des questions d'économies d'échelle et de pleine utilisation de la machine.

A cela s'ajoute le fait que dans les pays en développement des considérations personnelles — humaines — interviennent très souvent dans le choix d'une machine. Il arrive fréquemment que le constructeur n'ait pas d'agent local ou, s'il en a un, que la machine en question ne représente qu'une part très faible de son chiffre d'affaires et que le personnel de cet agent n'ait pas la compétence voulue pour donner des conseils techniques. Dans les rares cas où l'on peut obtenir de tels conseils, le vendeur est bien mieux armé que l'acheteur, car il connaît généralement les produits offerts sur le marché et les défauts de celui qu'il représente par rapport à ceux de la concurrence, et il peut aisément éviter d'en parler. La présente étude a pour objet d'exposer une méthodologie pouvant aider les petits industriels des pays en développement à choisir les machines à bois les mieux adaptées à leurs besoins.

Cette méthodologie consiste essentiellement à trouver une réponse satisfaisante aux questions suivantes :

- a) Pourquoi a-t-on besoin de la machine ? En fait, en a-t-on réellement besoin ? Autrement dit, il faut déterminer si la machine est réellement nécessaire et établir ses spécifications techniques;

* Par le Secrétariat de l'ONUDI. (Version revue et corrigée du document ID/WG.256/26.)

- b) Quels seront les effets de son installation sur les machines déjà en place ?
- c) Comment s'y prendre pour acheter une machine ?

Ces points sont examinés en détail ci-après.

Détermination de la nécessité réelle de la machine

De nombreuses raisons peuvent justifier l'achat d'une machine à bois pour une entreprise de meubles ou de menuiserie d'un pays en développement; voici les plus courantes :

- a) Mécaniser des opérations effectuées jusque-là à la main et économiser ainsi de la main-d'œuvre; c'est-à-dire augmenter la capacité de production sans engager davantage de personnel;
- b) Mécaniser des opérations manuelles effectuées jusque-là par des ouvriers qualifiés; réduire ainsi les besoins en main-d'œuvre qualifiée, qui est soit impossible à obtenir, soit plus coûteuse;
- c) Abaisser les coûts de production grâce à la mécanisation (qui permet d'employer de la main-d'œuvre moins coûteuse, d'accroître la productivité, etc.);
- d) Assurer la précision de l'usinage; cela permet de réduire ultérieurement le coût de l'assemblage;
- e) Assurer la sécurité du travail; c'est-à-dire effectuer mécaniquement (et, dans une certaine mesure, automatiquement) des opérations dangereuses.

Dans les pays industrialisés, on peut aussi acheter une machine pour mécaniser la manutention afin de réduire les besoins en main-d'œuvre non qualifiée, ce qui se justifie rarement dans les pays en développement.

Les conditions générales qui précèdent sont valables pour l'achat de n'importe quelle machine; mais il ne faut pas oublier que lorsqu'on en acquiert une, c'est toujours pour qu'elle effectue une opération bien déterminée. Avant de décider d'acheter une machine, il est utile de procéder à une analyse de la valeur de l'élément à usiner, pour déterminer s'il ne serait pas possible de le simplifier et d'utiliser alors une machine moins complexe et, partant, moins coûteuse. Malheureusement, cela n'est possible que dans les entreprises spécialisées dans certaines gammes de produits et qui ont leurs propres productions, contrairement à celles qui acceptent toutes les commandes pourvu que le prix offert soit intéressant (cas le plus fréquent dans les pays en développement).

Evaluation des ressources existantes

Dans une usine, une machine déterminée fait partie d'une installation ou d'une chaîne de production et ne doit donc jamais être considérée isolément. L'une des raisons qui motivent le plus souvent l'achat d'une machine est la nécessité d'accroître la capacité de production. Il ne faut pas oublier cependant qu'une fois cette machine achetée, le goulot d'étranglement supprimé est reporté à la machine la plus utilisée après celle qui a été remplacée. Doubler la capacité de production pour l'opération considérée peut se traduire par un accroissement de la capacité totale de la chaîne de 10 % seulement si l'équipement le plus utilisé après la machine remplacée est employé à 90 % de sa capacité. Il est donc indispensable, avant de décider d'acheter telle ou telle machine, de faire le point de la capacité de tous les équipements de l'usine en vue d'établir un ordre de priorité et un plan à long terme, puis d'allouer les ressources financières d'après ce plan.

Sans vouloir minimiser aucunement la nécessité d'apporter des changements et d'adopter des techniques de production modernes dans les pays en développement, il convient cependant de faire observer qu'il ne servirait à rien d'acheter une machine beaucoup plus perfectionnée et précise que le reste de l'installation existante, étant donné qu'il ne serait pas possible d'utiliser au mieux cette nouvelle machine coûteuse et que son entretien et son réglage pourraient être trop compliqués pour la main-d'œuvre disponible, de sorte qu'il faudrait engager un technicien hautement qualifié — qui serait sous-employé — voire un spécialiste étranger. Ce problème doit être pris en considération, mais il ne doit pas faire obstacle à l'introduction de machines à bois modernes dans les pays en développement. Une formation poussée à la conduite de la nouvelle machine doit, si possible, être donnée aux techniciens et aux ouvriers de l'usine, à l'étranger ou dans le pays.

Pour pouvoir incorporer une nouvelle machine à une installation, il faut qu'il y ait la place

nécessaire dans la chaîne de production, à l'endroit prévu. Il faut tenir compte de la possibilité de la relier éventuellement à une autre machine, à l'aide de convoyeurs, de manière à réduire les manutentions et les besoins en main-d'œuvre. Il est regrettable que l'on se préoccupe très peu de ce problème dans les pays en développement. Les responsables n'ont pas encore compris, dans de nombreux cas, que le fait de prendre des demi-produits posés sur le sol, à côté d'une machine, pour les reposer sur le sol, près de la machine suivante, et de répéter cette opération pendant toute la fabrication n'augmentait pas leur valeur et entraînait des frais inutiles. En outre, l'incorporation d'une nouvelle machine à une chaîne de production se fait trop souvent aux dépens des emplacements réservés au stockage intermédiaire des demi-produits. L'installation d'une nouvelle machine justifierait l'extension de l'aire de stockage; mais elle se traduit le plus souvent par une réduction de cette aire, de sorte que l'on ne tire pas toujours avantage de l'augmentation de la capacité de production, à cause du manque de place pour les manutentions. Il s'ensuit qu'au lieu de faciliter la fabrication, la nouvelle machine accroît en fait la confusion dans l'atelier. Plus la capacité de la machine est élevée et plus il faut de place pour stocker les demi-produits.

Quand on installe une nouvelle machine, il serait fréquemment nécessaire de déplacer les autres machines; malheureusement, on ne le fait pas souvent, bien que les machines à bois soient relativement légères et exigent rarement des fondations spéciales. Il est vivement recommandé de profiter de la perturbation de la production provoquée par l'installation de la nouvelle machine pour déplacer les machines voisines, afin de minimiser les effets négatifs qu'elle pourrait avoir sur la production.

Pour le choix d'une machine ou d'un type de machine déterminé, il faut tenir compte de la « micro-infrastructure » de l'usine. Ainsi, avant de décider d'acheter une machine, il faut se demander s'il sera possible de disposer du courant électrique nécessaire (sous la tension et avec le nombre de phases voulues), d'air comprimé à la pression requise, sans en priver par trop les machines suivantes, et de vapeur (pour l'étuve et les presses), toujours à la pression exigée, ainsi que d'évacuer les poussières et les déchets. La nécessité d'installer un transformateur d'alimentation plus puissant, avec une cabine de distribution, ou encore une chaudière ou un compresseur de plus grande taille peut accroître sensiblement le coût d'une nouvelle machine d'un certain type.

Il n'est généralement pas nécessaire de modifier beaucoup l'aménagement des usines de travail du bois quand on y installe de nouvelles machines, sauf dans le cas des presses à plaquer et/ou à bois stratifiés, qui exigent de lourdes fondations spéciales, et dans le cas des cabines de peinture par pulvérisation, qui requièrent un système de ventilation spécial et doivent être isolées du reste des installations par des cloisons pare-feu, car elles sont très exposées au risque d'incendie.

Quand on envisage d'acheter une machine, il faut tenir compte des incidences que son installation aura en ce qui concerne l'équipement de l'atelier d'outillage existant. Dans toute la mesure du possible, les outils doivent être normalisés — il faut par exemple que les évidements des têtes porte-lames des toupies aient le même diamètre — de manière à ne pas avoir à acheter un jeu complet d'outils pour chaque machine. Il faut en outre étudier avec soin le type d'outil utilisé sur la machine que l'on envisage d'acheter, afin de déterminer si de nouvelles machines devront être installées dans l'atelier d'outillage. Les outils à mise rapportée, par exemple, exigent des machines spéciales beaucoup plus précises (et coûteuses) que les outils en acier ordinaire ou rapide. Dès l'introduction du premier outil monobloc ou de la première lame pour scie à ruban dans une usine utilisant des machines à raboter et des scies circulaires, il faudra modifier les affûteuses employées jusque-là pour entretenir les fers et les lames. Cela pourra entraîner également des frais supplémentaires considérables. Dans tous les cas, l'introduction de nouveaux types d'outils obligera à donner une formation spéciale aux responsables de l'entretien des scies et/ou à engager des spécialistes plus qualifiés des scies et de l'entretien.

Ergatisme ou chrématisme

A l'inverse des pays industrialisés, les pays en développement souffrent chroniquement d'un excédent de main-d'œuvre et d'une pénurie de capitaux. Aussi y a-t-on tendance -- souvent à l'instigation directe des pouvoirs publics -- à employer (à bon escient ou non) des méthodes de production ergatiques. Un autre argument invoqué couramment en faveur de ces méthodes est que dans lesdits pays les coûts salariaux sont plus faibles que dans les pays industrialisés et qu'il faudrait donc favoriser l'emploi de ces méthodes; mais on oublie souvent que, si tel est bien le cas, la productivité y est encore plus faible.

Sans vouloir amoindrir le rôle que l'industrie pourrait jouer dans la création d'emplois, il convient néanmoins de souligner la nécessité de choisir scientifiquement des équipements possédant le degré de

mécanisation voulu. Un des moyens de s'industrialiser est de réduire le plus possible le montant des capitaux d'investissement nécessaires (en employant du matériel, des machines, des installations et des bâtiments simples), tout en tenant compte du niveau peu élevé des qualifications et des salaires dans les pays en développement.

Toutefois, pour que l'entreprise puisse être compétitive sur les marchés mondiaux, le critère sur lequel il faut se fonder doit être, non seulement de créer des emplois, mais aussi de veiller à ce que les fonds investis concourent le plus possible à accroître sa compétitivité et sa rentabilité. Les investissements en capital fixe sont supérieurs et les coûts salariaux moins élevés.

Pour comparer les deux types d'investissement (chrématique ou ergatique), on relève ce qui les différencie et on postule un taux d'amortissement du matériel. Il ne s'agit pas de l'amortissement légal qui peut être déduit des impôts, mais d'un taux d'amortissement plus rapide lié, non pas à la longévité de la machine aux fins de la fiscalité, mais à la période pendant laquelle cette machine sera considérée comme techniquement avancée (il est donc lié davantage à sa valeur à la revente qu'à sa valeur comptable). Dans le cas des machines spéciales achetées pour fabriquer rentablement un produit déterminé, on se fonde sur l'espérance de vie de celui-ci (c'est-à-dire la période pendant laquelle il sera fabriqué) pour calculer le taux d'amortissement de ces machines. On ajoute aux résultats les intérêts annuels sur la somme supplémentaire à amortir dans le cas de la solution la plus coûteuse. Pour que l'investissement se justifie, ces frais annuels supplémentaires doivent être inférieurs au montant des salaires du personnel additionnel qu'exigerait la méthode ergatique.

Il est recommandé de procéder à de telles comparaisons avant de décider d'acheter des équipements importants.

Intérêt du matériel d'occasion

Les industriels des pays en développement se voient parfois proposer du matériel d'occasion et sont tentés de l'acheter. L'idée d'acheter du matériel d'occasion n'est pas mauvaise en soi, à condition de tenir compte des points suivants :

a) Les offres concernant des machines d'occasion n'ayant pas été remises en état de façon à satisfaire aux normes de précision dictées pour les machines à bois dans les grands pays industrialisés ne doivent pas être prises en considération¹. Dans de nombreux pays en développement, il existe des firmes spécialisées dans la remise en état des machines; à condition que la machine proposée ait encore une productivité satisfaisante, qu'elle soit garantie par la firme qui la propose et que celle-ci soit sérieuse, il ne faut pas écarter l'idée d'acheter une machine d'occasion remise en état;

b) Quand on achète une telle machine, il faut savoir qu'elle sera nécessairement désuète du point de vue technologique;

c) Il est en général plus difficile d'obtenir des pièces de rechange pour des machines d'occasion que pour des machines neuves (cela n'est pas toujours vrai pour les machines anciennes de conception simple, si les pièces de rechange doivent être fabriquées dans le pays en développement considéré).

Si elles tiennent compte des points ci-dessus, les entreprises de meubles et de menuiserie des pays en développement peuvent avoir avantage à acheter des machines d'occasion remises en état.

Utilisation d'outils électriques, de machines polyvalentes, de machines spéciales ou de chaînes complètes

Le type de machine à choisir et son degré de perfectionnement dépendent des types de produits fabriqués, du degré de normalisation, de l'importance des séries, etc. Après l'emploi d'outils à main, vient la première étape de la mécanisation qui consiste à utiliser des outils électriques. Toutefois, même s'ils ont un grand rendement, ceux-ci ne sont pas suffisants pour une production industrielle continue, en raison de leur manque de précision et de la fatigue qu'ils occasionnent pour les ouvriers (sauf quand ils sont utilisés pour des opérations finales comme le ponçage, le clouage, l'enduction par pulvérisation et, éventuellement, certains travaux de perçage).

¹ Certaines de ces normes sont indiquées dans le chapitre II : « Critères pour la réception des machines à travailler le bois et fiches de spécifications ».

Les machines polyvalentes ne conviennent pas vraiment pour une production industrielle, car elles n'ont qu'un ou deux moteurs, de sorte qu'elles ne peuvent exécuter qu'une seule opération à la fois, ou deux tout au plus. Dans la plupart des pays en développement, les industries du meuble et de la menuiserie emploient des machines spécifiques, car ce sont les plus souples. Les chaînes complètes ne conviennent pas, étant donné qu'en général les marchés locaux ne sont pas suffisamment vastes pour justifier une production mécanisée. En outre, ces chaînes sont généralement trop perfectionnées et trop chronométrées pour ces pays.

Détermination exacte de la machine nécessaire

Une fois que tous les éléments évoqués plus haut ont été analysés, il est possible d'établir les spécifications techniques exactes de la machine à acheter.

Le Comité européen des constructeurs de machines à bois (EUMABOIS) a adopté en 1965 une classification décimale des machines à bois qui a été acceptée sur le plan international. Cette classification initiale, que la France et la République fédérale d'Allemagne avaient adoptée comme normes nationales, a été mise à jour par la Commission technique d'EUMABOIS. La deuxième édition a été publiée en 1980; elle est reproduite dans l'annexe III. Elle peut aider le profane à définir, à l'aide des termes techniques appropriés, la machine à acheter. Il faut définir clairement les divers paramètres de la machine, par exemple : la largeur et l'épaisseur maximales des pièces à usiner, dans le cas des raboteuses et des ponceuses; le nombre de têtes, les sections maximales et minimales, etc., dans le cas des machines à moulurer sur quatre faces. Pour les pays en développement, il importe tout particulièrement de préciser les essences à usiner, notamment s'il s'agit de bois tropicaux denses, car certaines machines manquent parfois de puissance pour des travaux très exigeants. Il faut également fournir des renseignements sur l'alimentation en électricité; il pourrait aussi se révéler utile de mentionner les autres facteurs risquant de limiter le choix d'un type déterminé de machine (par exemple l'absence d'installation pour la production de vapeur s'il s'agit de choisir une petite étuve, ou d'air comprimé dans le cas des machines à commandes pneumatiques, les contraintes liées au matériel disponible dans l'atelier d'outillage, etc.).

Méthodologie pour l'identification des fournisseurs

Les industriels des pays en développement ne sont pas en contact avec les principaux constructeurs des pays avancés; en outre, l'équipement utilisé dans les premiers pays pour le travail du bois et le capitonnage est relativement simple et il est acheté, non pas sous forme d'installations clés en main ou de chaînes complètes, mais au fur et à mesure des besoins. Les industriels souhaitant acquérir des machines procèdent au coup par coup; ils prennent rarement la peine de visiter des foires ou d'étudier le matériel offert sur le marché mondial avant de prendre une décision. S'ils n'ont pas le choix pour ce qui est de l'ampleur des achats, ils peuvent — et doivent — analyser le marché avant de prendre une décision.

La première chose à faire est de recenser les constructeurs et les agents de firmes étrangères auxquels on pourrait s'adresser sur place et de déterminer (en faisant appel, par exemple, à des ingénieurs de l'université locale) si l'industrie locale de transformation des métaux est en mesure de fabriquer le matériel auxiliaire exigé par la machine (dispositifs de dépoussiérage, transporteurs, etc.). On établit ainsi une liste, sur laquelle on ajoute les constructeurs étrangers. On peut obtenir des adresses auprès des associations nationales de constructeurs de machines à bois des pays industrialisés. Il en existe aux Etats-Unis, au Japon et dans la plupart des pays européens. Dans le cas de ces derniers, elles sont regroupées au sein du Comité européen des constructeurs de machines à bois (EUMABOIS). On trouvera l'adresse de ces associations dans le *Guide des sources d'information sur l'industrie du meuble et de la menuiserie* publié par l'ONUDI². On peut aussi s'adresser aux attachés commerciaux des pays indus-

² *Information Sources on the Furniture and Joinery Industry*, édition révisée du quatrième numéro de la série *Guides des sources d'information* (publication des Nations Unies : UNIDO/LIB/SER.D/4/Rev.1 [ID/188]); *Information Sources on Woodworking Machinery*, trente et unième numéro de la même série (publication des Nations Unies : UNIDO/LIB/SER.D/31 [ID/214]).

trialisés qui sont en poste dans les capitales des pays en développement; ces atrachés pourraient même avoir les catalogues d'expositions internationales de machines à bois, auquel cas ccux-ci constitueraient bien entendu les meilleures sources de renseignements possibles. On trouvera à l'annexe I une liste de foires spécialisées, avec indication de leur périodicité.

Les pays en développement relativement avancés ne devraient pas être écartés de la liste des fournisseurs possibles de matériel, car certains d'entre eux construisent déjà des machines de base acceptables, dont la conception simple mais robuste est adaptée aux conditions des autres pays en développement. Il va sans dire que la solution idéale est de visiter une foire spécialisée.

Méthodologie pour la comparaison des offres reçues

La comparaison des offres reçues en réponse aux demandes envoyées suivant la procédure exposée ci-dessus constitue la dernière opération de la séquence; c'est aussi la plus complexe. En tenant compte des besoin réels, déterminés grâce à la méthode indiquée plus haut (« Détermination exacte de la machine nécessaire »), on analyse et on compare les diverses offres reçues, après les avoir mises sous forme de tableau. On commence par définir les différents paramètres techniques et économiques à prendre en considération, puis on compare toutes les offres paramètre par paramètre.

Pour une tenonneuse double par exemple, voici quelques-uns des paramètres techniques qu'il faut comparer (ils ne sont pas énumérés par ordre d'importance) :

- a) Dimensions maximales et minimales des éléments pouvant être usinés;
- b) Vitesse d'aménagement et possibilité ou non de variation continue;
- c) Puissance nominale des moteurs actionnant les têtes d'usinage et la chaîne d'aménagement; convient-elle pour l'usinage de bois tropicaux denses ?
- d) Nombre et position des têtes porte-outils fournies;
- e) Possibilités d'incorporer ultérieurement d'autres têtes d'usinage (scies, têtes porte-outils, dispositifs de défonçage et de bouvetage, etc.);
- f) Vitesse de rotation des têtes porte-outils;
- g) Existence de scies à entailler;
- h) Possibilité de faire pivoter les têtes porte-outils pour réaliser des assemblages à onglet;
- i) Dimensions maximales et minimales des scies (diamètre) et des têtes porte-outils (diamètre et hauteur);
- j) Interchangeabilité des scies et des outils avec d'autres outils employés dans l'usine;
- k) Précision d'usinage pour diverses opérations;
- l) Facilité de réglage de la machine et de changement des outils;
- m) Facilité d'entretien (par exemple graissage central);
- n) Type de commandes électriques;
- o) Dispositifs de sécurité;
- p) Consommation d'air comprimé (m^3 par minute et pression nécessaire);
- q) Machines spéciales dont doit disposer l'atelier d'outillage ou d'entretien pour que l'on puisse utiliser la machine;
- r) Poids net de la machine (plus elle sera lourde et massive et plus les risques de vibrations seront réduits, mais elle pourra exiger des fondations spéciales);
- s) Surface au sol nécessaire.

Du point de vue économique, il faut comparer les paramètres suivants (qui ne sont pas énumérés par ordre d'importance) :

- a) Capacité de production (nombre d'éléments de dimensions données qui pourront être fabriqués en une heure);
- b) Nombre et niveau de qualification des ouvriers nécessaires;
- c) Prix de la machine proprement dite;
- d) Prix des principales pièces de rechange;
- e) Prix de la machine avec les accessoires qui pourraient être achetés ultérieurement;
- f) Prix du matériel auxiliaire d'entretien des outils et de dépoussiérage qu'il faudra acheter pour pouvoir utiliser la machine;

- g) Prix des outils pour les diverses têtes d'usinage;
- h) Frais d'installation de la machine (y compris ceux occasionnés par la réalisation des fondations et le raccordement aux circuits pneumatique et électrique et au dispositif de dépoussiérage);
- i) Coût de la formation de la main-d'œuvre qui sera appelée à conduire la machine.

Il faut en outre tenir compte des considérations commerciales suivantes :

- a) Existence d'un agent local et services qu'il peut fournir;
- b) Machines du même constructeur que possède l'usine et performances de ces machines;
- c) Délai de livraison;
- d) Conditions de paiement et de crédit;
- e) Possibilité d'obtenir aisément une licence d'importation pour la machine et les outils nécessaires;
- f) Garantie (durée et éléments qu'elle couvre);
- g) Possibilité d'obtenir un ou plusieurs recueils d'instructions, rédigés dans une langue parlée localement, pour le montage et la conduite de la machine;
- h) Monnaie de paiement et clauses de garantie de change proposées;
- i) Clause de force majeure;
- j) Conditions d'augmentation des prix par le vendeur.

Ce n'est qu'après avoir examiné ces divers points pour toutes les offres reçues qu'une décision définitive peut être prise. Il va sans dire que les paramètres à comparer pour des machines de base plus simples sont moins nombreux.

Les points auxquels il faut faire particulièrement attention lors de la comparaison des offres sont les suivants :

- a) Eléments pour lesquels le fournisseur cite des prix approximatifs — parfois peu réalistes eu égard aux conditions locales — et que l'acquéreur doit acheter pour pouvoir utiliser la machine;
- b) Eléments qui, aux dires du fournisseur, devraient pouvoir être achetés sur place (démarreurs, moteurs, etc.), alors qu'en fait ils ne sont pas disponibles sur le marché local;
- c) Comparaison du coût réel des machines, compte tenu des différents arrangements financiers et des taux d'intérêts proposés par les divers fournisseurs.

Dans le cas de chaînes complètes, on compare les principales caractéristiques de chaque machine, que l'on évalue grâce à un système de notation. Ces caractéristiques ne sont pas comparées de manière aussi détaillée que dans le cas de l'achat de machines déterminées, car la chaîne est acquise globalement et choisie selon les mérites de l'ensemble et non pas des machines qui la composent, car celles-ci ne peuvent pas, habituellement, être remplacées au gré de l'acheteur (de même que l'on ne peut pas acheter une automobile ayant un équipement électrique ou un carburateur différents de ceux que propose normalement le constructeur). Le système de notation utilisé il y a quelques années par des consultants de l'ONUDI pour évaluer des offres relatives à une installation clefs en main pour la fabrication de panneaux de particules est indiqué à l'annexe II. Aujourd'hui, certains des éléments considérés sont dépassés du point de vue technologique, mais la méthode reste valable. Il faudra cependant élaborer un nouveau système de notation pour chaque chaîne de production.

Conclusions

La procédure qui vient d'être exposée peut paraître compliquée, mais il faut s'y conformer si l'on veut éviter des erreurs coûteuses. C'est souvent un bon investissement que de demander conseil à des consultants indépendants et impartiaux de pays industrialisés, qui sont spécialisés dans les industries du bois. Certains pays en développement qui disposent d'importantes ressources forestières ont déjà des spécialistes de ce genre. Dans d'autres cas, des consultants spécialisés de pays avancés travaillent régulièrement avec certains pays en développement et quelques-uns y ont même ouvert des bureaux. Les frais supplémentaires que cela occasionne sont souvent amortis en quelques mois, car on peut ainsi éviter des erreurs coûteuses dans le choix du matériel.

Annexe I

LISTE DE FOIRES SPECIALISEES DANS LES MACHINES A BOIS

<i>Ville et pays</i>	<i>Nom de la foire</i>	<i>Epoque et périodicité</i>
Hanovre (République fédérale d'Allemagne)	Ligna	Printemps, années impaires
Klagenfurt (Autriche)	Holzmesse	Eté, années impaires
Valence (Espagne)	Exposition nationale de machines à bois	Automne, années impaires
Atlanta, Géorgie (Etats-Unis)	World woodworking exposition and furniture supply fair	Automne, années impaires
Paris (France)	Expobois	Printemps, années paires
Milan (Italie)	Interbimall	Printemps, années paires
Nagoya (Japon)	Woodworking machinery and equipment fair	Automne, années paires
Rotterdam (Pays-Bas)	Hout	Automne, années impaires
Birmingham (Royaume-Uni)	Iwie	Automne, années impaires
Bâle (Suisse)	Holz	Automne, années impaires

Annexe II

SYSTEME DE NOTATION

Ce système de notation, élaboré par Arnost Travik^a, est une méthode d'évaluation des équipements proposés. On considère quatre niveaux de qualité (0, 1, 2, 3); le niveau 3 est le meilleur et le niveau 1 est le moins bon. La notation 0 signifie que l'équipement n'est pas indispensable; elle ne figure d'ailleurs qu'en pareil cas. Ces notes n'ont pas de valeur absolue, c'est-à-dire que l'on ne peut pas les additionner pour faire des moyennes. L'objet essentiel d'un tel système de notation est de comparer rapidement divers groupes d'équipement pour la conception d'une usine. Aujourd'hui, certains des éléments considérés sont dépassés du point de vue technologique, mais la méthode reste valable. Il s'ensuit que la liste des machines doit être mise à jour et qu'une nouvelle notation doit être établie pour chaque chaîne de production.

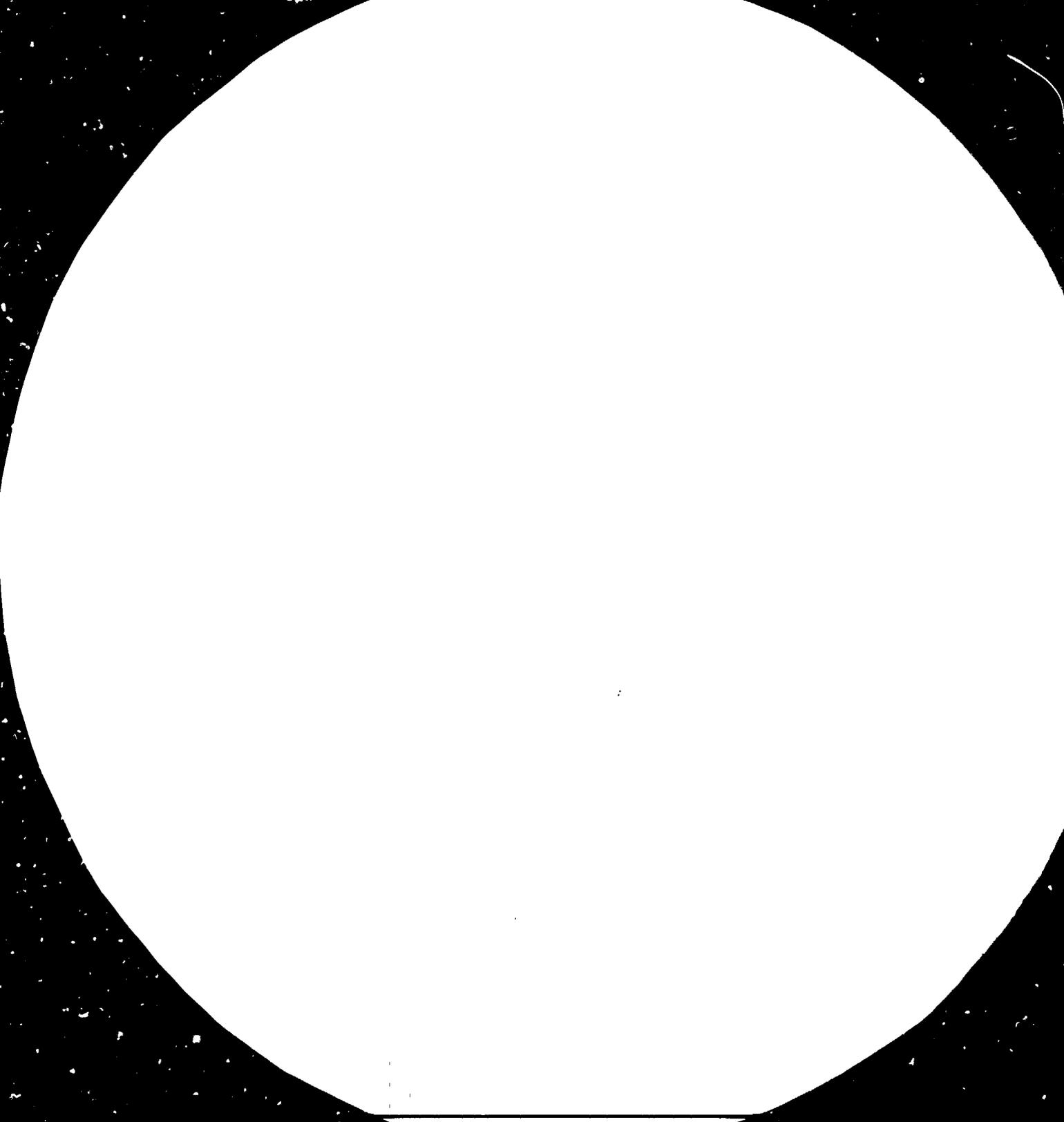
	<i>Nombre de points</i>
<i>Chantier de matières premières</i>	
Entièrement mécanisé	2
Partiellement mécanisé	1
Non prévu	0
<i>Poste d'écorçage</i>	
<i>Pertes de matières</i>	
Faibles -- écorceuse à tambour	3
Moyennes -- écorceuse à anneaux	2
Fortes -- écorceuse à couteaux	1
Ecorceuse non prévue	0
<i>Alimentation de l'écorceuse</i>	
Mécanisée, avec détecteur de corps métalliques	2
Mécanisée, sans détecteur de corps métalliques	1
Manuelle	0

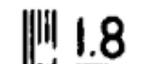
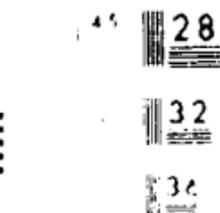
^a Publié initialement comme annexe II à une étude intitulée « General selection guidelines for woodworking machinery » (ID/W.7.151/6).

<i>Poste d'écorçage (suite)</i>	<i>Nombre de points</i>
Capacité	
Une équipe pour un travail à 3 postes	3
Deux équipes pour un travail à 3 postes	2
Trois équipes pour un travail à 3 postes	1
Rien de prévu	0
Evacuation de l'écorce	
Mécanisée, avec broyage de l'écorce	2
Mécanisée	1
Non prévue	0
Production de particules	
Système proposé	
Chaines de fabrication distinctes pour les particules des faces et pour les particules de l'âme; stockage séparé de la sciure, des copeaux de rabotage et des particules obtenues à partir de gros copeaux	3
Chaines de fabrication distinctes pour les particules des faces et les particules de l'âme; pas de stockage séparé de la sciure, des copeaux de rabotage et des particules obtenues à partir de gros copeaux	2
Une seule chaîne de fabrication pour les particules des faces et de l'âme; pas de stockage séparé de la sciure, des copeaux de rabotage et des particules obtenues à partir de gros copeaux	1
Capacité	
Une équipe pour la fabrication de panneaux en 3 postes	3
Deux équipes pour la fabrication de panneaux en 3 postes	2
Trois équipes pour la fabrication de panneaux en 3 postes	1
Elimination des éclats	
Classement à la fois pneumatique et mécanique	3
Classement pneumatique	2
Classement mécanique	1
Non prévue	0
Silo pour particules	
Grand (capacité supérieure à 100 m ³)	3
Moyen (capacité supérieure à 50 m ³)	2
Petit (capacité inférieure à 50 m ³)	1
Séchage	
Séchoir	
Dispositif de protection contre l'incendie avec matériel d'extinction automatique et contrôle automatique du taux d'humidité des particules	3
Même installation avec contrôle manuel du taux d'humidité	2
Matériel d'extinction manuel uniquement	0
Possibilité de réutiliser la sciure produite lors de la fabrication de panneaux	
Utilisation de la sciure à la fois dans la chaîne de production et comme combustible pour le séchoir	2
Utilisation de la sciure comme combustible pour le séchoir ou la chaudière	1
Rien de prévu	0
Installation de triage à la sortie du séchoir	
Installation de classement à la fois pneumatique et mécanique	3
Installation de classement pneumatique	2
Installation de classement mécanique	1
Non prévue	0
Préparation des colles	
Trémie sèche	
Capacité supérieure à 25 m ³ , avec indicateur de niveau en plusieurs points de la cuve	3
Capacité inférieure à 25 m ³ , avec indicateur « plein » ou « vide »	2
Faible capacité, sans indicateur de niveau	1
Dosage des particules	
Contrôle quantitatif continu	3
Contrôle quantitatif discontinu	2
Dosage volumétrique	1

<i>Préparation des colles (suite)</i>	<i>Nombre de points</i>
Construction de la malaxeuse	
Acier inoxydable, refroidissement du tambour, pas d'air comprimé	3
Acier, refroidissement du tambour, pas d'air comprimé	2
Acier, refroidissement du tambour, pulvérisation par air comprimé	1
Acier, pas de refroidissement du tambour, pulvérisation par air comprimé	0
Dosage de la colle et de l'émulsion de paraffine	
Coordonné avec le dosage des particules, contrôle quantitatif	3
Coordonné avec le dosage des particules, pas de contrôle quantitatif	2
Non coordonné avec le dosage des particules	1
 <i>Poste de formation des panneaux</i>	
Type d'installation	
Fixe	2
Transportable	1
Type de panneau	
Particules fines dans les couches de surface, contrôle quantitatif continu	3
Particules fines dans les couches de surface, contrôle quantitatif discontinu	2
Particules fines dans les couches de surface, pas de contrôle quantitatif	1
Prépressage du panneau	
Prévu	1
Non prévu	0
Élimination des panneaux mal formés	
Prévue	1
Non prévue	0
 <i>Pressage</i>	
Type de presse	
A un seul étage	3
A plusieurs étages, avec fermeture simultanée	2
A plusieurs étages, sans fermeture simultanée	1
 <i>Note : La préférence est donnée aux presses à un seul étage parce que, en raison de leur poids, elles permettent de respecter des tolérances d'épaisseur plus rigoureuses et d'uniformiser les caractéristiques du panneau. Il est toutefois évident que les presses à plusieurs étages présentent l'avantage d'avoir une productivité plus élevée.</i>	
Pression de service	
35 kgp/cm ² au minimum	3
30 kgp/cm ² au minimum	1
Poste d'accumulation	
Pompes pour chaque piston	3
Accumulateur	2
Pompes	1
Système d'alimentation	
Sans tôles	3
Avec des tôles de transport ou des bandes multiples	2
Bande transporteuse (pour des raisons d'entretien et de prix)	1
Position des pistons de la presse	
Sur deux rangées, au-dessus des crans d'arrêt	2
Sur deux rangées, près de l'axe des plateaux	1
Sur une rangée, dans l'axe des plateaux	0
Régulation thermique	
Prévue	1
Non prévue	0
Réglage de la température des plateaux	
Prévu	1
Non prévu	0
Dispositif d'arrêt	
Dans les pistons	2
Dans les plateaux	1

	<i>Nombre de points</i>
<i>Mise à dimensions des panneaux pressés</i>	
Avec des outils travaillant simultanément sur deux fois deux faces	3
Avec des outils travaillant sur deux faces	2
Avec des outils travaillant sur une face seulement	1
<i>Refroidissement des panneaux pressés</i>	
Circulation d'air forcée	2
Circulation d'air naturelle	1
Non prévu	0
<i>Contrôle volumique/pondéral à la sortie de la presse</i>	
Pas nécessaire, assuré par d'autres équipements	3
Nécessaire, mesures faites en plusieurs points	2
Nécessaire, pesage des panneaux entiers	1
Nécessaire mais non prévu	0
<i>Contrôle d'épaisseur des panneaux pressés</i>	
Mesures sur toute la largeur des panneaux	3
Mesures en plusieurs points	2
Mesure en un point	1
Non prévu	0
<i>Détecteur de corps métalliques</i>	
A l'entrée de la presse	2
A la sortie de la presse	1
Non prévu	0
<i>Chaîne de ponçage</i>	
Type de machine	
Machine travaillant sur deux faces avec plusieurs outils	3
Machine travaillant sur deux faces avec un seul outil	2
Machine travaillant sur une seule face	1
Constitution de la chaîne	
Avec acheminement automatique	3
Avec acheminement mécanisé	2
Avec aménagement et classement manuels	1
Triage des panneaux poncés	
En trois endroits	3
En deux endroits	2
En un endroit	1
<i>Stockage des produits finis</i>	
Manutention au moyen d'un engin de levage télescopique	2
Manutention au moyen d'un élévateur à fourche	1
Rien de prévu	0
<i>Stockage et préparation de la colle</i>	
Magasin de matières premières	
Manutention prévue, avec rayonnages	2
Manutention prévue, sans rayonnages	1
Rien de prévu	0
Préparation du mélange de colle	
Mécanisée, permettant à un ouvrier de préparer le mélange pour trois équipes	3
Non mécanisée, un ouvrier par équipe	2
Simple, plus d'un ouvrier par équipe	1
<i>Laboratoire</i>	
Prévu	1
Non prévu	0
<i>Atelier d'affûtage</i>	
Complet, pour l'affûtage de tous les outils	2
Sans possibilité d'affûter les outils spéciaux	1
Non prévu	0





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

Annexe III

CLASSIFICATION TECHNIQUE DES MACHINES A TRAVAILLER LE BOIS ET MACHINES AUXILIAIRES *

Introduction

Le Comité européen des constructeurs de machines à bois fut fondé le 22 janvier 1960.

Son but est l'étude des problèmes communs qui se posent journallement aux constructeurs de toutes nationalités.

L'absence de classification permettant aux constructeurs et aux utilisateurs de machines à bois de se comprendre en raison des difficultés créées par les différences de langue, était l'une des lacunes les plus urgentes à combler.

La réalisation de cette classification fut confiée à une commission de travail comprenant un technicien de chacun des pays membres du Comité, des représentants des syndicats nationaux et du secrétariat général. La présidence était assurée par le délégué français, M. Henry Jouhannaud. La deuxième édition de la classification publiée en 1980 a été préparée par la Commission technique à partir des travaux de révision proposés en 1979. La présidence était assumée par le délégué allemand M. Rolf Schmidt.

L'établissement des textes en six langues a fait l'objet d'un soin particulier. Pour éviter toute confusion, il a été choisi dans chaque langue, lorsque nécessaire, l'expression la plus appropriée et non pas forcément la traduction pure et simple.

Malgré toute la conscience apportée à la réalisation de ce travail, il se peut que le lecteur souhaite obtenir des précisions ou des éclaircissements sur certains points particuliers. Il est prié de s'adresser au

Comité européen des constructeurs de machines à bois
150, boulevard Bineau, Neuilly-sur-Seine (France), tél. 745.43.43

Préambule

(Très important)

Cette classification a été conçue sur une base technologique; le classement a donc été fait en fonction du mode de travail des machines et d'une façon complémentaire, en cas de nécessité, suivant le but final de la machine.

Dans certains cas spéciaux, notamment dans les machines à usage particulier, le classement a été effectué uniquement en fonction du but final de la machine.

Les groupes 1 à 6 comprennent exclusivement des machines conçues pour le travail défini dans chacun des chapitres inclus dans ces groupes.

L'outillage équipant ces machines ainsi que l'adjonction de montages auxiliaires complémentaires ne modifie pas le classement des machines considérées.

Le groupe 8 comprend toutes les machines utilisant plusieurs procédés de travail de nature différente définis dans les groupes 1 à 6. Dans ces machines, après introduction de la pièce à usiner, celle-ci reçoit, sans reprise manuelle, les différentes opérations d'usinage prévues.

Par contre les machines combinées de menuiserie ont été considérées comme des machines simples groupées ensemble pour des raisons d'encombrement.

Elles sont classées dans le groupe 1 parce qu'il est nécessaire de reprendre la pièce à travailler pour chaque changement d'opération.

Le titre 91 comprend les machines ou ensembles de machines exclusivement conçus pour la fabrication de produits bien définis.

Définitions

Dans l'esprit de cette classification les machines pour le travail du bois, fixes ou portatives, ont été conçues pour exécuter divers travaux de transformation du bois, de matériaux dérivés du bois et aussi de matières diverses telles que liège, os, ébonite, plastiques ou matières diverses semblables.

Sont comprises dans l'expression ci-dessus les machines-outils à débiter et à déformer ainsi que les machines à assembler et à revêtir des surfaces.

En outre, on comprend par machines auxiliaires, des machines qui, en dehors de celles que l'on vient de définir, sont employées comme moyens de production spécifiques dans le travail du bois : machines et équipements pour le traitement des bois, dispositifs pour le déplacement des pièces et matières, installations pour le triage et la distribution des particules, appareils à préparer la colle, machines et appareils pour l'entretien des outils de machines à bois, etc.

Les machines de débitage permettent de transformer mécaniquement une pièce :

- a) sans enlèvement de copeaux (11)
- b) avec enlèvement de copeaux (12)

* Comité européen des constructeurs de machines à bois, Neuilly-sur-Seine, 1980.

- 11 Les machines comprises dans ce numéro permettent de transformer mécaniquement une pièce sans enlèvement de copeaux :
- 11.1 Par fendre, on entend diviser une pièce suivant la fibre, au moyen d'un coin.
 - 11.2 Les machines à fragmenter le bois produisent, sans enlèvement de copeaux, de petites pièces de forme et dimensions similaires.
 - 11.3 Les machines à estamper découpent une pièce à la manière d'un emporte-pièce.
 - 11.4. Les machines à trancher permettent de diviser, au moyen d'une lame tranchante rectiligne, une pièce en feuilles minces, soit par tranchage soit par déroulage.
 - 11.5 Les machines à cisailer le placage permettent de couper les feuilles de placages au moyen de lames rectilignes.
- 12 Les machines comprises sous ce numéro permettent de transformer une pièce avec enlèvement de copeaux :
- 12.1 Les machines à scier travaillent au moyen d'une lame dentée ou d'une chaîne coupante.
 - 12.2 Les machines à raboter surfacent une pièce au moyen de lames coupantes travaillant par enlèvement de copeaux.
- Remarque* : Les machines à raboter sur deux ou plusieurs faces diffèrent des machines à fraiser sur deux ou plusieurs faces par leur table de rabotage qui est généralement mobile en hauteur bien que ces machines soient aussi quelquefois utilisées pour le rabotage.
- 12.3 Les machines à fraiser permettent de profiler une pièce par enlèvement de copeaux au moyen d'outils rotatifs profilés. Les moulurières sont comprises dans cette catégorie.
 - 12.4 Les machines à percer sont exclusivement destinées à exécuter des trous cylindriques au moyen d'un outil rotatif. Le centre de la bûche, de la mèche, du trou à exécuter sont situés sur un même axe. Les déplacements de l'outil ou de la pièce se font suivant ce même axe.
 - 12.5 Les machines à mortaiser permettent l'exécution de logements autres que cylindriques au moyen de ciseaux, chaînes ou mèches à mortaiser. Les mouvements de présentation et le travail sont situés dans un même plan.
 - 12.6 Les tours permettent de façonner une pièce animée d'un mouvement de rotation autour de son axe, l'outil ne tournant pas.
- Sont exclues de ce chapitre certaines machines improprement appelées tours et sur lesquelles l'outil est rotatif (ex. : tours à bâtons). Elles se classent au chapitre 12.3.
- 12.7 Les machines à poncer permettent, au moyen d'abrasifs, d'effectuer un usinage superficiel pour améliorer un état de surfaces et aussi parfois d'effectuer certaines retouches.
- Les machines à polir sont destinées à rendre lisse, au moyen de bandes, tambours, cylindres souples, une pièce préalablement revêtue d'un enduit.
- 12.8 Les machines combinées de menuiserie réunissent, pour des raisons d'encombrement, deux ou plusieurs machines différentes, utilisées indépendamment les unes des autres. Il est nécessaire de reprendre la pièce à travailler pour chaque changement d'opération.
- 2 Les machines de déformation permettent de modifier mécaniquement la forme et/ou les caractéristiques physiques de la pièce par action sur sa texture.
- 3 Les machines à assembler permettent d'assembler deux ou plusieurs pièces.
- Les machines à revêtir les surfaces permettent d'assembler une pièce à un agent de revêtement (colles, laques, etc.).
- 4 Les machines et équipements pour le traitement des bois ont pour objet de modifier les caractères du bois par extraction, imprégnation ou autres procédés.
- 5 Les machines et appareils auxiliaires ne sont pas, à proprement parler, des machines à bois, mais s'y rattachent en ce sens qu'ils sont spécifiquement utilisés par l'industrie du bois.
- 6 Machines portatives et unités d'usinage :
- 61 Les machines portatives sont des machines à entraînement mécanique; elles sont conduites à la main pendant le travail.
- Elles comprennent les machines à transmission par flexible et par extension toutes autres machines conduites à la main telles que les ponceuses à parquet.
- 62 Les unités d'usinage sont des ensembles mécaniques ne comportant pas de bâti propre.
- Elles peuvent être utilisées soit pour compléter une machine existante soit pour composer, sur un bâti approprié, une machine nouvelle.
- 8 Machines à opérations différentes pouvant utiliser les procédés de travail des groupes 1 à 6; dans ces machines après introduction de la pièce à usiner, celle-ci reçoit, sans reprise manuelle, les différentes opérations d'usinage prévues.
- 91 Les machines spéciales ou ensembles de machines spéciales sont exclusivement conçus pour une fabrication de produits bien définis.

1 MACHINES DE DÉBITAGE

11 Machines travaillant sans enlèvement de copeaux

11.1 Machines à fendre :

- 11.11 Machines à fendre les rondins
- 11.12 Machines à fendre le bois de chauffage
- 11.13 Machines à fendre les rhizomes
- 11.14 Machines à fendre les verges de saule et les joncs d'Inde
- 11.19 Autres machines à fendre

11.2 Machines à fragmenter le bois :

11.21 Machines à faire des éclats de bois

- 11.22 Machines à couper les bois ou les éclats pour obtenir des particules
- 11.23 Machines à défibrer les éclats ou autres pièces de bois
- 11.24 Machines à broyer à outils travaillant par chocs
- 11.25 Machines à faire la laine de bois
- 11.29 Autres machines à fragmenter le bois

11.3 Machines à estamper (ex. : estampeuses à placage)

11.4 Machines à trancher :

- 11.41 Machines à faire les planchettes :
 - 11.411 mouvement alternatif du porte-outil
 - 11.412 mouvement rotatif du porte-outil
 - 11.413 mouvement basculant du porte-outil
- 11.42 Machines à faire les feuilles de placage :
 - 11.421 traneuses
 - 11.421.1 course verticale
 - 11.421.2 course horizontale
 - 11.421.3 course inclinée
 - 11.422 dérouluses
- 11.49 Autres machines à trancher
- 11.5 Machines à cisailer le placage :
 - 11.51 Massicots pour placage isolé
 - 11.52 Massicots pour paquets de placage
 - 11.53 Machines à découper le placage (ex. : contourneuses à marqueterie)
 - 11.59 Autres machines à cisailer le placage
- 11.9 Autres machines travaillant sans enlèvement de copeaux (ex. : cisailles circulaires à panneaux de fibres, machines à trancher le bois en bout, machines à trancher les croisées de fenêtres, découpeuses à bois de gazogène, etc.)
- 12 Machine travaillant par enlèvement de copeaux :
 - 12.1 Machines à scier :
 - 12.11 Machines à scier, outil à mouvement alternatif :
 - 12.111 Scies à tronçonner :
 - 12.111.1 fixes
 - 12.111.2 transportables
 - 12.112 Scies à chantourner
 - 12.113 Scies alternatives horizontales
 - 12.114 Scies alternatives verticales :
 - 12.114.1 fixes
 - 12.114.2 transportables
 - 12.119 Autres scies, outil à mouvement alternatif
 - 12.12 Machines à scier, outil à mouvement de révolution :
 - 12.121 Machines à scier à ruban :
 - 12.121.1 Machines à scier à ruban, à grumes :
 - 12.121.11 horizontales :
 - 12.121.111 fixes :
 - 12.121.111.1 à chariot mobile
 - 12.121.111.2 à bâti mobile
 - 12.121.112 transportables avec chariot mobile
 - 12.121.12 verticales :
 - 12.121.121 fixes :
 - 12.121.121.1 avance manuelle du chariot
 - 12.121.121.2 avance automatique du chariot
 - 12.121.121.21 monolame
 - 12.121.121.22 multilames
 - 12.121.122 transportables :
 - 12.121.122.1 avance manuelle du chariot
 - 12.121.122.2 avance automatique du chariot
 - 12.121.2 Machines à scier à ruban, à chariot libre :
 - 12.121.21 fixes :
 - 12.121.211 avance manuelle du chariot
 - 12.121.212 avance automatique du chariot
 - 12.121.22 transportables :
 - 12.121.221 avance manuelle du chariot
 - 12.121.222 avance automatique du chariot
 - 12.121.3 Machines à scier à ruban, à table à rouleaux :
 - 12.121.31 fixes :
 - 12.121.311 avec chariot
 - 12.121.312 sans chariot
 - 12.121.32 transportables :
 - 12.121.321 avec chariot
 - 12.121.322 sans chariot
 - 12.121.4 Machines à scier à ruban, à refendre :
 - 12.121.41 horizontales
 - 12.121.42 verticales :
 - 12.121.421 à dédoubler ou à refendre
 - 12.121.421.1 monolame
 - 12.121.421.2 multilames
 - 12.121.429 autres (bois de mine, etc.)
 - 12.121.5 Machines à scier à ruban, à table :
 - 12.121.51 machines fixes
 - 12.121.52 machines transportables
 - 12.121.9 Autres machines à scier à ruban (ex. : scies à rubans multiples pour faire les frises de parquets, scies pour l'industrie papetière, scies à ruban à 3 volants, scies à ruban inclinable, etc.)
 - 12.122 Scies à chaîne :
 - 12.122.1 pour coupe transversale
 - 12.122.2 pour coupe longitudinale
 - 12.122.9 autres scies à chaîne
 - 12.13 Machines à scier, outil à mouvement circulaire :
 - 12.131 Scies circulaires monolame :
 - 12.131.1 Scies circulaires monolame, outil mobile pour coupe transversale :
 - 12.131.11 à mouvement d'avance curviligne de l'outil :
 - 12.131.111 Scies circulaires pendulaires avec axe d'articulation en haut
 - 12.131.112 scies circulaires pendulaires avec axe d'articulation en bas
 - 12.131.113 scies circulaires basculantes avec bras horizontal
 - 12.131.119 autres, à mouvement d'avance curviligne de l'outil
 - 12.131.12 à mouvement d'avance rectiligne de l'outil :
 - 12.131.121 scies circulaires à mouvement parallèle
 - 12.131.122 scies radiales
 - 12.131.129 autres, à mouvement d'avance rectiligne de l'outil
 - 12.131.19 autres scies circulaires monolame à outil mobile pour coupe transversale
 - 12.131.2 Scies circulaires monolame, outil mobile, coupe longitudinale et en directions variées :
 - 12.131.21 coupe longitudinale pour bois massifs et panneaux
 - 12.131.22 coupe longitudinale pour paquets de placage
 - 12.131.25 coupes longitudinales autres
 - 12.131.26 coupe longitudinale et transversale :
 - 12.131.261 scies à panneaux sur chevalet
 - 12.131.3 Scies circulaires monolame, outil à position fixe :
 - 12.131.31 scies circulaires monolame à grumes avec table mobile
 - 12.131.32 scies circulaires monolame à grumes avec table à rouleaux
 - 12.131.33 scies circulaires monolame à dédoubler avec aménagement par cylindres
 - 12.131.34 scies circulaires monolame de précision avec table mobile pour planchettes
 - 12.131.35 scies circulaires monolame, à déligner :
 - 12.131.351 délignuses à aménagement à rouleaux ou à chaînes
 - 12.131.352 délignuses avec table mobile
 - 12.131.36 scies circulaires monolame à table, de menuisier, avec ou sans table mobile
 - 12.131.37 scies circulaires monolame à table, spéciales :

- 12.131.371 scies circulaires avec table mobile pour coupe transversale
 - 12.131.372 scies circulaires au format avec table mobile
 - 12.131.373 scies circulaires de chantier
 - 12.131.374 scies circulaires à bois de chauffage
 - 12.131.39 autres scies circulaires monolame outil à position fixe
 - 12.131.9 Autres scies circulaire monolame
 - 12.132 Scies circulaires à deux ou plusieurs lames :
 - 12.132.1 Scies circulaires à deux ou plusieurs cutils mobiles :
 - 12.132.11 scies circulaire pour coupes parallèles des panneaux
 - 12.132.12 scies circulaires pour coupes d'équerre des panneaux
 - 12.132.13 scies circulaire pour coupes parallèles et d'équerre des panneaux
 - 12.132.14 scies circulaires à entailler pour pliage
 - 12.132.15 scies circulaires à épauler
 - 12.132.2 Scies circulaires à deux ou plusieurs outils mobiles et outils à position fixe :
 - 12.132.21 scies circulaires pour coupes d'équerre des panneaux
 - 12.132.22 scies circulaires pour coupes parallèles et d'équerre des panneaux
 - 12.132.3 Scies circulaires à deux ou plusieurs outils à position fixe :
 - 12.132.31 scies circulaires à tronçonner doubles et multiples
 - 12.132.32 scies circulaires à 2 lames, à grumes et à bois équarris :
 - 12.132.321 avec lames de scie sur le même plan
 - 12.132.322 avec lames de scie sur plans parallèles
 - 12.132.33 déligneuses multilames pour dégrossissage
 - 12.132.331 lames à écartement fixe
 - 12.132.332 lames à écartement réglable
 - 12.132.34 déligneuses multilames de finition
 - 12.132.39 autres scies circulaires à deux ou plusieurs outils à position fixe
 - 12.132.9 Autres scies circulaires, à deux ou plusieurs lames
 - 12.139 autres machines à scier, outil à mouvement rotatif (ex. : scies circulaires concaves, scies tubulaires)
- 12.2 Machines à raboter :
- 12.21 Machines à raboter pour le travail sur une face :
 - 12.211 Machines à dégauchir :
 - 12.211.1 machines à dégauchir avec porte-outil cylindrique à lames :
 - 12.211.11 avec avance à main
 - 12.211.12 avec entraînement automatique incorporé
 - 12.211.2 machines à dégauchir avec plateau porte-lames circulaire en bout d'arbre
 - 12.211.3 machines à dresser les paquets de placages
 - 12.212 Machines à raboter avec outil rotatif
 - 12.213 Machines à raboter à fers fixes
 - 12.219 Autres machines à raboter pour le travail sur une face (ex. : raboteuses pour bois de grandes dimensions)
 - 12.22 Machines à raboter pour le travail sur deux faces :
 - 12.221 Machines à dégauchir et à dresser sur chant en une seule passe
 - 12.222 Machines à raboter et à dresser sur chant en une seule passe
 - 12.223 Machines à raboter en dessous et en dessus en une seule passe
 - 12.229 Autres machines à raboter pour le travail sur deux faces (ex. : raboteuses sur deux faces pour bois de grandes dimensions)
 - 12.23 Machines à raboter pour le travail sur trois faces, table mobile, arbre horizontal fixe
 - 12.24 Machines à raboter pour le travail sur quatre faces, table mobile, arbre horizontal supérieur fixe :
 - 12.241 arbre vertical fixe (ex. : corroyeuses)
 - 12.242 arbre vertical réglable en hauteur
 - 12.29 Autres machines à raboter
- 12.3 Machines à fraiser, outil rotatif :
- 12.31 Machines à fraiser sur une face :
 - 12.311 Toupies monobroche et toupie à deux broches à entre-axes fixes
 - 12.312 Tenonneuses simples à une broche avec ou sans scie circulaire amovible
 - 12.313 Machines à faire les queues :
 - 12.313.1 les queues droites
 - 12.313.2 les queues d'aronde
 - 12.313.9 les queues autres
 - 12.314 Défonceuses fraiseuses à mouleur et boîtes à noyaux
 - 12.315 Machines à copier :
 - 12.315.1 avec gabarit pour guider la pièce à usiner :
 - 12.315.11 toupies
 - 12.315.12 défonceuses
 - 12.315.19 autres machines
 - 12.315.2 avec gabarit pour guider l'outil :
 - 12.315.21 toupies
 - 12.315.22 défonceuses
 - 12.315.29 autres machines
 - 12.315.3 avec modèle pour guider l'outil :
 - 12.315.31 avec mouvement tournant automatique de la pièce
 - 12.315.39 autres (ex. : machines à sculpter)
 - 12.316 machines à moulurer avec un arbre et aménagement mécanique
 - 12.317 machines à fraiser les entailles pour pliage
 - 12.319 autres machines à fraiser sur une face (ex. : bouvetouses)
 - 12.32 Machines à fraiser sur deux faces :
 - 12.321 Toupies doubles avec distance des broches réglable
 - 12.322 Toupies à copier, avec broches mobiles par gabarit, à deux faces
 - 12.323 Machines à moulurer sur deux faces
 - 12.329 Autres machines à fraiser sur deux faces (ex. : bouvetouses)
 - 12.33 Machines à moulurer sur trois faces, table fixe, arbres réglables
 - 12.34 Machines à moulurer sur quatre faces, table fixe, arbres réglables
 - 12.35 Machines à fraiser les bâtons ronds (à lunettes)
 - 12.36 Machines à façonner avec pièces tournantes
 - 12.37 Machines à fraiser les grumes :
 - 12.371 à une fraise
 - 12.372 à deux fraises
 - 12.379 autres
 - 12.39 Autres machines à fraiser
- 12.4 Machines à percer :
- 12.41 Perceuses monobroche (aussi à tête porte broches multiple)
 - 12.42 Perceuses multibroches :
 - 12.421 position des broches fixe
 - 12.422 position des broches réglable

- 12.43 Perceuses pour usages particuliers :
 - 12.431 perceuses bouchonneuses
 - 12.432 perceuses à cheviller :
 - 12.432.1 monobroche
 - 12.432.2 multibroches
 - 12.433 perceuses à mèche pour trous profonds
 - 12.434 perceuses pour plaques d'insonorisation
 - 12.439 autres perceuses pour usages particuliers
 - 12.49 Autres perceuses
 - 12.5 Machines à mortaiser :
 - 12.51 Mortaiseuses, outil oscillant :
 - 12.511 à un porte-outil
 - 12.512 à porte-outils multiples
 - 12.52 Mortaiseuses, outil à mouvement de révolution :
 - 12.521 Mortaiseuses à chaîne :
 - 12.521.1 mortaiseuses à chaîne, simples
 - 12.521.2 mortaiseuses à chaîne, multiples
 - 12.522 Mortaiseuses à chaîne et à l'axe creux
 - 12.529 Autres mortaiseuses, outil à mouvement de révolution
 - 12.53 Mortaiseuses, outil à mouvement circulaire :
 - 12.531 Mortaiseuses à mèche :
 - 12.531.1 mortaiseuses à mèche, simples
 - 12.531.2 mortaiseuses à mèche, multiples
 - 12.531.9 mortaiseuses à mèche, spéciales (pour persiennes, etc.)
 - 12.532 Mortaiseuses à bédane creux
 - 12.539 Autres mortaiseuses, outil à mouvement circulaire
 - 12.59 Autres mortaiseuses
 - 12.6 Tours :
 - 12.61 Tours parallèles
 - 12.62 Tours en l'air
 - 12.63 Tours à façonner avec outil de forme
 - 12.64 Tours à copier, gabarit avec outil non rotatif
 - 12.69 Autres tours
 - 12.7 Machines à poncer — machines à polir :
 - 12.71 Ponceuses à patin oscillant
 - 12.72 Ponceuses à bande :
 - 12.721 ponceuses à bande étroite :
 - 12.721.1 ponceuses à table fixe
 - 12.721.2 ponceuses à table ou châssis coulissant :
 - 12.721.21 non automatique
 - 12.721.22 semi-automatique
 - 12.721.3 Ponceuses automatiques à bande étroite
 - 12.721.31 ponceuses à une bande
 - 12.721.32 ponceuses à deux ou plusieurs bandes
 - 12.721.4 Ponceuses pour travaux spéciaux :
 - 12.721.41 ponceuses pour chants, feuillures et liteaux profilés
 - 12.721.42 Ponceuses pour courbes et pièces de forme
 - 12.721.43 ponceuses pour bâtons ronds
 - 12.721.44 ponceuses pour pièces tournées
 - 12.721.49 ponceuses autres
 - 12.721.9 autres ponceuses à bande étroite
 - 12.722 ponceuses à bande large :
 - 12.722.1 ponceuse à une bande
 - 12.722.2 ponceuse à deux ou plusieurs bandes
 - 12.73 Ponceuses à disques
 - 12.731 ponceuses à disque non profilé
 - 12.731.1 ponceuses à axe fixe
 - 12.731.2 ponceuses à axe orientable
 - 12.731.9 ponceuses autres
 - 12.732 ponceuses à disque profilé
 - 12.739 autres ponceuses à disques
 - 12.74 Ponceuses à outil cylindrique
 - 12.741 Ponceuses à tambours (tambour pon-
ceur en porte à faux) :
 - 12.741.1 avec alimentation à main
 - 12.741.2 avec alimentation automatique
 - 12.742 Ponceuses à cylindres (cylindres pon-
ceurs non en porte à faux) :
 - 12.742.1 à un cylindre :
 - 12.742.11 avec alimentation à main
 - 12.742.12 avec alimentation automatique
 - 12.742.2 à plusieurs cylindres (alimentation
automatique)
 - 12.749 Autres ponceuses à outil cylindrique
 - 12.75 Ponceuses à outils différents
 - 12.751 ponceuses pour surface plane (ex. :
travaillant en croix)
 - 12.752 ponceuses pour plusieurs surfaces
planes
 - 12.753 pour pièces profilées
 - 12.76 Machines à polir
 - 12.761 Polisseuses à bande :
 - 12.761.1 avec alimentation à main
 - 12.761.2 avec alimentation automatique
 - 12.762 Polisseuses à tambour
 - 12.763 Polisseuses à cylindre :
 - 12.763.1 avec alimentation à main
 - 12.763.2 avec alimentation automatique
 - 12.769 Autres polisseuses
 - 12.79 Autres machines à poncer — machines à
polir
 - 12.8 Machines combinées, de menuiserie :
 - 12.81 Raboteuses-dégauchisseuses
 - 12.82 Dégauchisseuses (sans raboteuse) combinées
avec une ou plusieurs autres opérations
 - 12.83 Raboteuses-dégauchisseuses combinées avec
une ou plusieurs autres opérations
 - 12.84 Scies circulaires — toupies — mortaiseuses
 - 12.89 Autres machines combinées de menuiserie
 - 12.9 Autres machines travaillant par enlèvement de co-
peaux (ex. : pour rendre les surfaces rugueuses par
brosses ou jet de sable)
- ## 2 MACHINES A DÉFORMER
- 21 Machines à comprimer et densifier des bois massifs
 - 22 Machines à cintrer
 - 23 Machines à faire des empreintes
 - 23.1 Presses à estemper
 - 23.2 Machines à marquer
 - 23.9 Autres
 - 29 Autres machines à déformer
- ## 3 MACHINES A ASSEMBLER ET A REVÊTIR LES SURFACES
- 31 Machines à assembler par liants (colles et papiers
gommés) :
 - 31.1 Machines à assembler sur chants :
 - 31.11 Machines à jointer les placages :
 - 31.111 avec papier gommé :

- 31.111.1 longitudinalement
- 31.111.2 transversalement
- 31.119 Autres machines à jointer les placages :
 - 31.119.1 longitudinalement
 - 31.119.2 transversalement
- 31.12 Machines à coller les bois massifs
 - 31.121 Longitudinalement :
 - 31.121.1 par application directe des chants
 - 31.121.2 par coulissement des chants
 - 31.122 par assemblage en bout :
 - 31.122.1 par joints à queues
 - 31.122.2 par joints biseautés superposés
- 31.13 Machines à coller les panneaux entre eux
- 31.2 Machines à assembler les angles :
 - 31.21 Presses à cadrer
 - 31.22 Presses à carcasses
 - 31.29 Autres machines à assembler les angles
- 31.3 Machines à assembler sur plats :
 - 31.31 Presses à contreplaquer :
 - 31.311 les surfaces planes
 - 31.312 les surfaces non planes (galbées, gauches)
 - 31.32 Presses à bois stratifiés :
 - 31.321 avec surfaces planes
 - 31.322 avec surfaces non planes (galbées, gauches)
 - 31.33 Presses à plaquer :
 - 31.331 les surfaces planes :
 - 31.331.1 alimentation manuelle
 - 31.331.2 alimentation automatique, pression intermittente
 - 31.331.3 alimentation et pression continue
 - 31.332 les surfaces non planes (galbées, gauches) :
 - 31.332.1 avec contrefort rigide
 - 31.332.2 avec contrefort souple (par vide ou pression externe)
- 31.4 Machines à coller les placages ou autres pièces, sur chants :
 - 31.41 sur chants plans
 - 31.42 sur chants profilés
- 31.5 Machines à coller des pièces de sections rectangulaires (liteaux) pour constituer des panneaux
- 31.6 Presses à agglomérer les particules :
 - 31.61 Presses pour panneaux de particules :
 - 31.611 Presses à alimentation intermittente
 - 31.612 Presses à alimentation en continu :
 - 31.612.1 presses à bandes
 - 31.612.2 presses à extruder
 - 31.612.9 autres presses à alimentation en continu
 - 31.62 Presses à mouler
 - 31.69 Autres presses à agglomérer les particules
- 31.7 Presses à agglomérer les fibres :
 - 31.71 Presses à bandes métalliques tressées
 - 31.72 Presses à plateaux
 - 31.79 Autres presses à agglomérer les fibres

- 31.9 Autres machines à assembler par liants (ex. : presse rotative avec alimentation intermittente automatique)
- 32 Machines, à assembler par éléments tels que clous, agrafes, fils, etc. :
 - 32.1 Machines à enfoncer les clous, agrafes, etc. :
 - 32.11 Machines à clouer les caisses, les palettes, les tambours de câbles
 - 32.12 Machines à clouer les feuillards
 - 32.13 Machines à agrafier, à plat ou d'angles
 - 32.14 Machines à agrafier les caisses armées
 - 32.15 Machines à visser
 - 32.16 Machines à poser les quincailleries
 - 32.19 Autres machines à enfoncer (ex. : enfoncer les bandes ondulées ou les crampons, machines à enfoncer les chevilles, billoteuses)
 - 32.2 Machines à assembler au moyen de fils (ex. : machines à bottelet le bois de chauffage, machines à tisser, etc.)
 - 32.9 Autres machines à assembler par éléments tels que clous, agrafes, fils, etc.)
- 33 Machines à assembler sans liant ni élément d'assemblage :
 - 33.1 Presses de montage (ex. : pour échelles, à sertir les pièces métalliques sur planches de coffrage, etc.)
 - 33.2 Presses à faire les balles
 - 33.3 Presses à briquettes
 - 33.4 Machines à tordre les cordes en laine de bois
 - 33.5 Machines à natter
 - 33.9 Autres
- 34 Machines à revêtir les surfaces :
 - 34.1 Machines à encoller :
 - 34.11 Encolleuses de panneaux et placages :
 - 34.111 encolleuses sur chants
 - 34.112 encolleuses sur plats
 - 34.12 Encolleuses de copeaux
 - 34.19 Autres encolleuses
 - 34.2 Machines à vernir :
 - 34.21 par rouleaux
 - 34.22 par rideaux
 - 34.23 par arrosage
 - 34.24 par projection
 - 34.25 par immersion

- 34.26 par procédé électrostatique
- 34.29 autres machines à vernir
- 34.3 Machines à imprimer
- 34.9 Machines à revêtir par autres produits (ex. : résines synthétiques, etc.)
- 39 Autres machines à assembler et à revêtir les surfaces
- 4 MACHINES ET EQUIPEMENTS POUR LE TRAITEMENT DES BOIS (SÉCHAGE, IMPRÉGNATION, ETC.)
- 41 Installations à étuver
- 42 Séchoirs :
 - 42.1 Séchoirs à bois débités
 - 42.2 Séchoirs à placages
 - 42.3 Séchoirs à particules
 - 42.4 Séchoirs à vernis
 - 42.9 Autres séchoirs
- 43 Installations d'humidification
- 44 Installations d'imprégnation et de préservation
- 45 Installations pour le blanchiment de la coloration
- 46 Installations de refroidissement
- 49 Autres machines pour le traitement des bois
- 5 MACHINES ET APPAREILS AUXILIAIRES POUR L'INDUSTRIE DU BOIS :
- 51 Dispositifs pour le déplacement des pièces et/ou matières :
 - 51.1 Appareils de levage :
 - 51.11 Tables élévatrices
 - 51.12 Tables et plates-formes élévatrices fixes
 - 51.13 Elévateurs basculants
 - 51.19 Autres appareils de levage
 - 51.2 Dispositifs d'alimentation et d'évacuation
 - 51.3 Dispositifs de retournement
 - 51.4 Entraîneurs
 - 51.5 Installations de transport et stockage des copeaux, fibres, déchets, particules, etc.
 - 51.51 Installations de transport
 - 51.511 Mécanique
 - 51.512 Pneumatique
 - 51.52 Installations de stockage (ex. : silos)
- 51.6 Appareils pour centrer automatiquement
- 51.9 Autres dispositifs pour le déplacement des pièces et/ou matières
- 52 Installations de triage
 - 52.1 des bois
 - 52.2 des particules
- 53 Installations pour la distribution des particules
- 54 Appareils à préparer la colle
- 55 Machines pour l'entretien des outils :
 - 55.1 Machines pour l'entretien des lames de scies :
 - 55.11 Machines à affûter, à meules
 - 55.12 Machines à affûter, à limes
 - 55.13 Machines et appareils à avoyer, écraser, égaliser
 - 55.14 Appareils à braser et souder
 - 55.15 Machines à tendre, à planer
 - 55.16 Machines à biseauter
 - 55.17 Machines à affûter les lames circulaires à mise rapportée
 - 55.19 Autres machines pour l'entretien des lames de scies
 - 55.2 Machines à affûter les couteaux :
 - 55.21 Couteaux à tranchant rectiligne
 - 55.22 Couteaux à tranchant profilé
- 55.3 Machines à affûter les outils pour fraiser et raboter
- 55.4 Machines à affûter les forets et outils de défonçeurs
- 55.5 Machines à affûter les bédanes
- 55.6 Machines à affûter les chaînes coupantes
- 55.7 Machines à affûter universelles
- 55.9 Autres machines pour l'entretien des outils
- 56 Dispositifs de protection et de réduction du niveau sonore :
 - 56.1 Dispositifs de protection
 - 56.2 Dispositifs de réduction du niveau sonore
- 57 Appareils de serrage, pressage, montage
- 58 Appareils de mesure, réglage et contrôle
- 59 Autres machines et appareils auxiliaires (ex. : machines à nettoyer les surfaces)

6 MACHINES PORTATIVES ET UNITÉS D'USINAGE

- 61 Machines portatives :
- 61.1 Machines portatives travaillant sans enlèvement de copeaux :
 - 61.11 Machines portatives à écorcer, à lame
 - 61.19 Autres machines portatives travaillant sans enlèvement de copeaux (ex. : cisailles portatives)
- 61.2 Machines portatives travaillant par enlèvement de copeaux :
 - 61.21 Machines portatives à scier :
 - 61.211 outil à mouvement alternatif
 - 61.212 outil à mouvement de révolution :
 - 61.212.1 scies portatives à ruban
 - 61.212.2 scies portatives à chaîne
 - 61.212.21 tronçonneuses à lame-guide
 - 61.212.22 tronçonneuses à arc
 - 61.212.29 Autres scies portatives à chaîne
 - 61.213 à outil circulaire :
 - 61.213.1 scies portatives circulaires
 - 61.213.2 scies portatives annulaires
 - 61.213.9 Autres scies portatives à outil circulaire
 - 61.22 Machines portatives à raboter
 - 61.23 Machines portatives à fraiser :
 - 61.231 pour défonçage
 - 61.232 pour affleurage
 - 61.239 autres
 - 61.24 Machines portatives à percer
 - 61.25 Machines portatives à mortaiser :
 - 61.251 à outil oscillant
 - 61.252 à outil à mouvement de révolution (à chaîne)
 - 61.259 Autres mortaiseuses portatives
 - 61.26 Machines portatives à poncer ou polir :
 - 61.261 Ponceuses portatives :
 - 61.261.1 outil à mouvement oscillant
 - 61.261.2 outil à mouvement de révolution (ponceuses portatives à bande)
 - 61.261.3 outil à mouvement rotatif :
 - 61.261.31 ponceuses portatives à disque
 - 61.261.32 ponceuses portatives à outil cylindrique
 - 61.261.9 Autres ponceuses portatives
 - 61.262 Polisseuses portatives
 - 61.3 Machines portatives à assembler :
 - 61.31 Machines portatives à clouer
 - 61.32 Machines portatives à agraffer
 - 61.33 Machines portatives à visser
 - 61.39 Autres machines portatives à assembler
 - 61.4 Machines portatives à revêtir les surfaces par application d'enduits adhésifs :
 - 61.41 Pistolets à colle
 - 61.42 Pistolets à vernir et peinture
 - 61.49 Autres machines portatives à revêtir
 - 61.8 Machines à transmission flexible

61.9 Autres machines portatives

62 Unités d'usinage :

- 62.1 Unités travaillant sans enlèvement de copeaux
- 62.2 Unités travaillant par enlèvement de copeaux :
 - 62.21 Unités à scier
 - 62.22 Unités à raboter
 - 62.23 Unités à fraiser
 - 62.24 Unités à percer
 - 62.25 Unités à mortaiser
 - 62.26 Unités à poncer ou polir
 - 62.29 Autres unités travaillant par enlèvement de copeaux
- 62.3 Unités d'assemblage et à revêtir les surfaces
- 62.9 Autres unités d'usinage

7 LIBRE

8 MACHINES A OPÉRATIONS DIFFÉRENTES UTILISANT PLUSIEURS PROCÉDÉS DE TRAVAIL DES CHAPITRES 1 A 6

- 81 Machines de première transformation à opérations différentes à usiner les grumes (ex. : écorcer, scier, fragmenter)
 - 81.1 Scies alternatives à opérations différentes
 - 81.2 Scies à ruban à opérations différentes
 - 81.3 Scies circulaires à opérations différentes
 - 21.4 Machines à fraiser à opérations différentes
 - 81.9 Autres
- 82 Machines de deuxième transformation à opérations différentes à usiner le bois massif, panneaux, placage (ex. : scier, fraiser, poncer)
 - 82.1 tenonneuses simples à plusieurs broches
 - 82.2 tenonneuses doubles
 - 82.3 machines à usinages longitudinaux et transversaux (ex. : fraisage, sciage)
 - 82.4 machines doubles à tenonner avec dispositifs complémentaires
 - 82.5 machines à raboter avec scies circulaires
 - 82.6 machines à opérations différentes à percer les trous de chevilles (ex. : scier, fraiser, percer, mortaiser)

82.7 machines à opérations différentes à usiner les emplacements de quincailleries (ex. : scier, fraiser, percer, mortaiser)

82.9 autres machines à opérations différentes pour usiner (ex. : sur table indexée)

83 Machines à opérations différentes pour assembler par collés et usiner :

83.1 collage plus usinages :

83.11 constitution de rubans à partir de placage

83.12 constitution de panneaux à partir de lattes

83.13 constitution de pièces à partir de particules, fibres, etc.

83.14 constitution de pièces à partir de stratifiés

83.15 machines à plaquer sur chants (ex. : placage, alésés, baguettes, plastique) :

83.151 une face

83.152 deux faces

83.16 machines à envelopper

83.17 machines à postformer

83.19 autres

83.2 Usinages plus collage et autres opérations éventuelles :

83.21 machines doubles à tenonner et plaquer sur chants

83.22 machines pour bois aboutés

83.23 machines à joints bisautés

83.24 massicots pour paquets de placage avec dispositifs d'encollage

83.25 bouchonneuses encolleuses, machines automatiques à rapiécer le placage

83.26 machines à usiner les emplacements de chevilles, coller, poser

83.29 autres

84 Machines à opérations différentes à usiner et assembler par éléments métalliques ou plastiques :

84.1 machines à usiner les emplacements de quincailleries et/ou à les poser

84.2 machines à cadrer des châssis, caisses, etc. et assembler par connecteurs

84.9 autres

89 Autres machines à opérations différentes

9 AUTRES MACHINES

91 Machines spéciales ou ensembles de machines spéciales exclusivement conçus pour une fabrication de produits bien définis :
Machines et installation pour :

91.1 balais et brosses

91.2 crayons

91.3 tonneaux

91.4 porte-plumes

91.5 casiers à bouteilles

91.6 stylos et stylos à bille

91.7 crosses de fusils

91.8 bois de mines

91.9 talons de chaussures

91.10 sabots et semelles

91.11 pièces de canbrure de souliers

91.12 éléments de charpente en bois lamelles

91.13 peignes

91.14 porte-manteaux

91.15 boutons

91.16 produits en liège (bouchons, etc.)

91.17 règles graduées (mètres, décimètres, etc.)

91.18 instruments de musique

91.19 parquets

91.20 pavés de bois

91.21 pinceaux

91.22 hélices

91.23 règles de calcul

91.24 volets et persiennes

91.25 pièces pour cercueils

91.26 formes, embouchoirs de chaussures

91.27 traverses de voies ferrées

91.28 articles de sport (skis, raquettes, etc.)

91.29 dresser les billots (constitués par des éléments de bois en bout)

91.30 cageots, paniers à fruits, boîtes à fromage, etc.

91.31 pièces pour sièges (chaises, fauteuils)

91.32 accessoires pour machines de textile (bobines, navettes, etc.)

91.33 pinces à linge

91.34 charronnage

91.35 cure-dents

91.36 allumettes

91.37 chevilles

91.38 palissades et piquets

92 Machines diverses

92.1 Machines à écorcer non portatives (à poste fixe ou transportable)

V. Outillage de machines à bois*

Sciage

Les machines à scier peuvent être groupées dans les catégories suivantes : scies alternatives, scies à ruban, scies circulaires et scies à chaîne fixes ou transportables. Les scies à chaîne sont utilisées pour l'abattage des arbres, pour le façonnage (ébranchage et tronçonnage) des grumes et, enfin, pour divers travaux de chantier; il n'en sera pas davantage question dans ce chapitre. Les scies alternatives, qui ont été parmi les premières utilisées pour transformer les grumes en bois débités (avivées, planches, etc.), trouvent leur domaine d'application quand il s'agit de travailler de grandes quantités de bois homogènes des points de vue des essences, des dimensions des grumes et des dimensions des pièces à obtenir.

Scies alternatives

Les scies alternatives ont les avantages suivants :

- a) Réduction du temps nécessaire pour placer la grume sur le chariot, étant donné qu'une seule course est suffisante pour la débiter (à condition que plusieurs lames soient montées sur le cadre);
- b) Solidité de la machine dans son ensemble;
- c) Facilité d'inspection et d'entretien des lames;
- d) Bon état des surfaces obtenues;
- e) Force motrice relativement modeste.

En revanche, ces scies ont quelques inconvénients :

- a) Une fois le travail commencé, on ne peut plus changer l'orientation de la grume par rapport aux lames;
- b) Complexité de la structure de la machine, qui exige un bâti très lourd et dont une parfaite régulation demande du personnel très expérimenté.

Les scies alternatives à plusieurs lames sont particulièrement utiles pour débiter les résineux des forêts des zones tempérées; pour les grands arbres des forêts tropicales, on leur préfère généralement les scies à ruban.

Scies à ruban

Les scies à ruban ont les avantages suivants :

- a) Possibilité de modifier, en cours de travail, l'orientation de la grume sur le chariot;
- b) Régulation assez facile de la machine et changement rapide des lames;
- c) Réduction des pertes dues à la voie des lames, qui ont une faible épaisseur;
- d) Bon état des surfaces obtenues.

* Par G. Melloni, spécialiste de l'équipement pour le travail du bois. (Version revue et corrigée de ID/WG.277/17.)

Ces scies ont les inconvénients suivants :

- a) Temps perdu dans la course de retour du chariot;
- b) Danger pour les ouvriers d'une lame non protégée sur une grande longueur;
- c) Risque de blessures lors du transport des lames à l'affûtage.

Dans l'ensemble, on peut dire que les scies à ruban conviennent pour débiter rapidement des assortiments variés de bois dont les caractéristiques ne sont pas homogènes.

Scies circulaires

Les scies circulaires peuvent être utilisées pour le sciage des grumes en solution simple (une seule lame) ou en solution double (deux lames superposées dans le même plan vertical). Les scies circulaires ont les avantages suivants :

- a) Possibilité de modifier la position de la pièce sur le chariot pour s'adapter aux conditions internes du bois;
- b) Grande vitesse de travail;
- c) Facilité d'installation et de commande de la machine; facilité de changement des lames.

Par contre, elles ont les inconvénients suivants :

- a) Temps perdu dans la course de retour du chariot;
- b) Danger pour les ouvriers lorsque les lames ne sont pas protégées;
- c) Très forte perte en sciures, étant donné l'épaisseur exigée pour conférer aux lames la rigidité nécessaire.

En résumé, on peut dire que pour le débitage des grumes tropicales la machine appropriée semble être la scie à ruban. Pour les opérations suivantes, c'est-à-dire pour les véritables travaux de menuiserie, il vaut mieux utiliser les scies à ruban ou les scies circulaires.

Les facteurs qui affectent la rigidité d'une lame de scie à ruban sont : ses dimensions, la tension de montage et le tensionnage de la lame. La qualité des produits obtenus dépend de la denture de la lame : forme, avoyage et pas des dents. Les caractéristiques normales d'une lame sont les suivantes :

- a) Epaisseur comprise entre 1/1 000 et 1/1 250 du diamètre du volant;
- b) Largeur (initiale) égale à la largeur des jantes plus la profondeur de la denture;
- c) Tension de montage d'environ 200 N/mm² pour les rubans normaux et environ la moitié pour les rubans très larges;
- d) Tensionnage de l'ordre de 80 à 100 N/mm², mais cette contrainte est difficile à mesurer.

On utilise les termes ci-après pour décrire les diverses parties d'une dent de scie (figure 1) :

- Profondeur du creux de dent
- Longueur du creux de dent
- Pas (distance entre deux dents)
- Angle de bec
- Angle de dépouille
- Angle d'attaque

Il n'y a que quelques formes de denture. Les renseignements fournis par les différents laboratoires ne sont pas toujours fondés sur les mêmes principes. Pour les grandes grumes tropicales, les résultats les plus satisfaisants semblent être obtenus avec la denture « perroquet », la denture à « copeaux projetés » et la denture « belge » (ainsi appelée du fait de son origine). Voir la figure 2.

Pour ce qui est du pas, on peut dire que les valeurs moyennes (35-40 mm) sont réservées aux volants relativement petits et au bois de sciage difficile. Les valeurs supérieures (50-60 mm) conviennent pour les volants de grand diamètre et les bois de sciage facile. L'avoyage (par torsion ou par écrasement) a pour objet d'assurer une meilleure pénétration de la scie dans le bois. L'écrasement consiste à élargir la dent près de sa pointe; la torsion consiste à incliner les dents alternativement d'un côté et de l'autre.

L'importance de l'avoyage dépend à la fois de l'épaisseur de la lame et des caractéristiques de l'essence à usiner : la voie est plus grande pour les lames épaisses et pour les bois faciles à travailler. A l'heure actuelle, pour le sciage des grandes grumes tropicales, on a tendance à préférer l'avoyage par écrasement.

Figure 1. Caractéristique d'une dent de scie

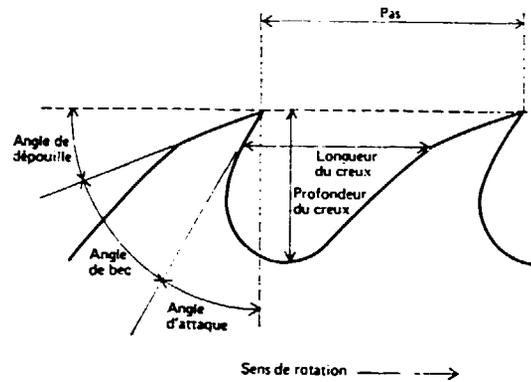
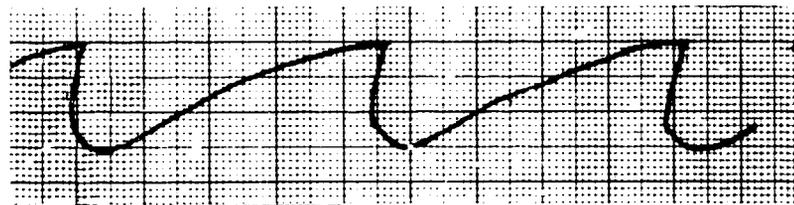
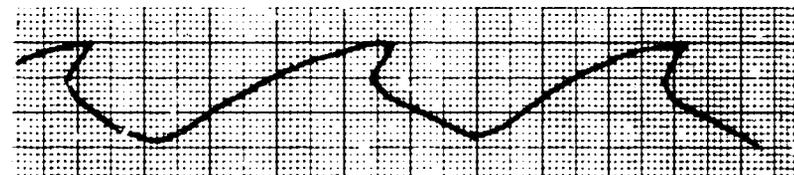


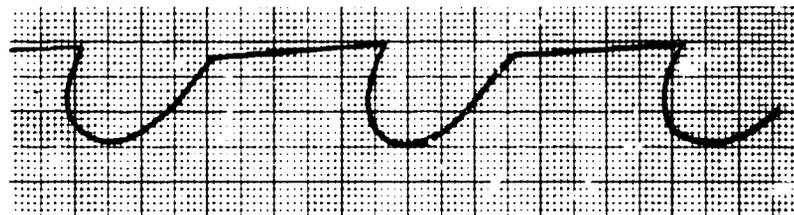
Figure 2. Différentes formes de denture



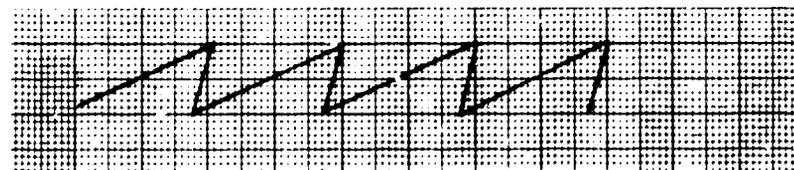
A. Denture perroquet



E. Denture à copeaux projetés



C. Denture crochet (denture belge)



D. Denture couchée

Pour les bois particulièrement durs ou ceux qui contiennent de la silice, il convient d'utiliser des dents à mise rapportée en carbure de tungstène ou des dents stellites. La profondeur du creux de dent est généralement 1/10 de l'épaisseur de la lame si celle-ci est faible et environ 1/12-1/13 de la largeur

de la larne si celle-ci est supérieure à 140 mm. Le tensionnage est extrêmement important: c'est une tension interne reçue par la bande d'acier lors de son laminage. Le tensionnage doit être vérifié souvent et, en tout cas, chaque fois que l'on procède à l'affûtage des dents. Pour cela, on dispose aujourd'hui d'outillages perfectionnés qui donnent toute satisfaction; cependant, il convient de souligner que de bons résultats dans la préparation et l'entretien des lames ne peuvent être obtenus que si le personnel chargé de ces tâches est parfaitement qualifié.

Les lames de scies à ruban d'atelier, notamment celles utilisées pour le finissage de pièces de dimensions réduites, ont normalement une largeur comprise entre 30 et 60 mm, une épaisseur de 0,5 à 1,0 mm et la denture la plus simple possible (en général de forme couchée, qui est facile à entretenir).

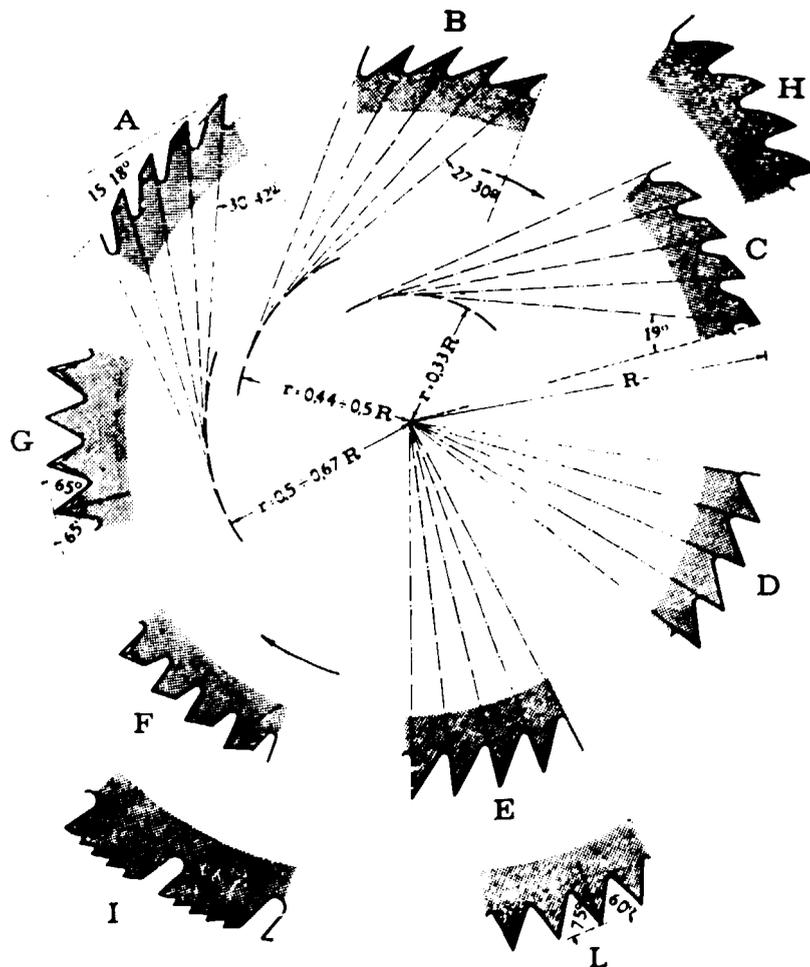
Lames de scies circulaires d'atelier

Les lames avec denture obtenue directement dans le disque sont constituées par un disque d'acier avec denture périphérique. Généralement, les deux faces sont parallèles, mais il existe aussi des types à faces coniques divergentes ou convergentes. Ces dernières sont particulièrement utilisées pour refendre des pièces de grande épaisseur.

Pour les travaux d'atelier, le diamètre des disques doit toujours être inférieur à 500 mm. L'épaisseur est déterminée par l'une ou l'autre des deux formules suivantes :

- a) Epaisseur égale à $0,005 D$;
- b) Epaisseur égale à $0,07 \text{ mm} + 0,14 \sqrt{D}$, où D est le diamètre exprimé en mm.

Figure 3. Différentes formes de dents de scies circulaires



Depuis assez longtemps déjà, des ingénieurs ont fait maintes recherches sur la forme de la denture. En résumé, se référant à la figure 3, on peut dire que les types A, B et C conviennent au sciage de long; on peut aussi utiliser le type H. Pour le sciage transversal, il faut utiliser les types D, E, F ou G. Le type L est utilisé dans l'Union des Républiques socialistes soviétiques pour les réseaux. La denture du type I (une dent rabot et quatre coupantes avoyées alternativement) convient pour n'importe quel sens de sciage.

Si l'on veut effectuer le sciage en concordance, c'est-à-dire dans le sens d'avancement de la pièce, il est préférable d'adopter une denture avec angle d'attaque négatif.

Outils à mise rapportée en carbure métallique

Les outils des machines travaillant par enlèvement de copeaux sont essentiellement en carbures métalliques. Ces derniers ont progressivement remplacé les aciers rapides (HSS) utilisés traditionnellement pour le travail du bois. Maintenant, on utilise de plus en plus des outils à mise rapportée en carbure de tungstène pour couper les bois et les matières plastiques. En effet, ils ont une durée de vie beaucoup plus longue que les autres matériaux.

Outre leur dureté, ce qui se traduit par des affûtages moins fréquents, les carbures métalliques (carbure de tungstène et carbure de titane) se caractérisent par une forte résistance à la chaleur. Contrairement aux aciers rapides (HSS), les carbures métalliques n'exigent aucun traitement thermique pendant la phase de finition. Selon les travaux de coupe envisagés, on utilise des alliages contenant plus ou moins de cobalt.

Qualités de carbures métalliques

La norme DIN 4990 répartit les carbures métalliques dans trois groupes principaux : P, M et K. On ne considérera ici que le groupe K, utilisé pour le travail par enlèvement de copeaux. Les alliages cobalt/carbure de tungstène appartiennent à ce groupe. Ces alliages sont les mieux adaptés au travail du bois et des matériaux à base de bois et de matières plastiques. Tous les outils à mise rapportée en carbure métallique de ce type se caractérisent par leur très grande résistance à l'usure; cette résistance diminue avec la teneur en cobalt de l'alliage. Quand la résistance à l'usure augmente (c'est-à-dire quand la teneur en cobalt diminue), le carbure métallique devient plus fragile (voir le tableau 1). En général, les carbures K40 et K30 donnent de bons résultats pour le travail des bois naturels. En revanche, quand il y a plus de frottement (lors de la coupe de bois imprégnés de résines synthétiques), il est préférable d'utiliser le carbure K20. Les types K10 ou K05 (qui est le plus résistant à l'usure) donnent de meilleurs résultats pour le travail de bois très abrasifs ou de matières plastiques.

Le tableau 2 montre les qualités de carbure à utiliser selon les matériaux.

TABLEAU 1. QUALITÉS DE CARBURE DE TUNGSTÈNE UTILISÉ DANS LE TRAVAIL PAR ENLEVEMENT DE COPEAUX

(Groupe K)^a

Groupe (enlèvement de copeaux)	Poids spécifique (g/cm ³)	Dureté (Hv30)	Teneur en cobalt (%)
K01	15,0	1 800	4
K05	14,5	1 750	6
K10	14,8	1 650	6
K20	14,8	1 550	6
K30	14,6	1 400	9
K40	14,3	1 300	12

^a D'après la norme DIN 4990.

TABLEAU 2. ALLIAGES UTILISÉS SELON LES MATÉRIEAUX À COUPER

Matériaux à travailler		Carbure à utiliser	
Nature	Observations	Résistance à l'usure importante	Ténacité importante
Bois naturels Feuillus Résineux		K30	K40
Bois densifiés Bois traités Bois compressés Bois imprégnés de résine		K20	K30
Bois stratifiés Contre-plaqués Bois stratifiés Bois stratifiés pressés		K20	K30
Panneaux composés Panneaux recouverts de diverses substances Panneaux décoratifs Panneaux à structure cellulaire	Le revêtement ou l'âme influe énormément sur l'usure des arêtes tranchantes de l'outil	K10	K20
Matières plastiques dures Matières pour formes	Résines synthétiques avec substances de remplissage organiques et inorganiques	K05	K20
Matières thermoplastiques Matières pour formes	Faible résistance mécanique et mauvaise résistance à la chaleur	K20	K40

Note. Pour les matières plastiques à base de résines renforcées de fibres de verre, il faut toujours utiliser le carbure métallique le plus résistant à l'usure.

Caractéristiques demandées à la machine

La machine-outil doit disposer d'une vaste plage de réglage, afin que l'on puisse obtenir les meilleures conditions de travail; elle doit être très résistante aux vibrations et facilement manœuvrable. Pour le travail du bois et des matières plastiques par enlèvement de copeaux, on peut utiliser des vitesses de coupe variant de 25 à 125 m/s; toutefois, la plage de travail optimale est celle située dans la moitié supérieure entre ces deux limites, selon le type de matériau à travailler. Les outils à mise rapportée en carbure métallique exigent donc l'emploi de broches à grande vitesse de rotation et vaste plage de réglage. Les frais initiaux pour l'achat de la machine et des outillages spéciaux seront largement compensés par la très haute productivité qui est assurée par la suite. Un bon outillage a de grands avantages; par exemple, on obtient d'excellents résultats avec des outils relativement petits et munis d'un nombre de dents assez réduit; ils durent longtemps, même aux très grandes vitesses de rotation; il s'ensuit une diminution appréciable des frais relatifs aux outils. La durée de vie d'un outil de coupe dépend beaucoup de la présence ou non de vibrations sur la machine; les vibrations de résonance peuvent être éliminées ou en tout cas atténuées au moyen de dispositifs spéciaux. En outre, des supports efficaces pour la machine permettent de garantir une entrée de puissance silencieuse et continue, même sous de fortes sollicitations statiques et dynamiques. Toutes les parties tournantes doivent être soigneusement équilibrées dynamiquement, y compris les organes de transmission d'énergie; il faut les monter sur le support même de la machine ou dans un dispositif de protection aisément accessible. Pour des raisons de concurrence, les grands fabricants ont dû perfectionner l'automatisation des processus de production. Les principales entreprises du secteur de l'industrie du bois et des matières plastiques accordent beaucoup d'importance à cette tendance à la complète automatisation des installations et elles envisagent donc de nouveaux investissements dans les usines et l'outillage. A ce propos, il serait sage d'inviter des experts du secteur de l'outillage à prendre part aux discussions préliminaires; ces experts sont en mesure de faire des calculs économiques pratiques, ce qui permet d'exprimer en chiffres l'augmentation du gain dans la production.

Choix des scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique

Les scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique sont des outils à haut rendement. La conception de ces outils et leur haute précision assurent, non seulement une coupe de qualité exceptionnelle, mais aussi une très longue durée de vie. Une très grande expérience pratique a conduit à la réalisation de scies circulaires adaptées aux conditions d'emploi des diverses entreprises. Si l'on choisit soigneusement l'outil adapté au travail à exécuter, on peut toujours compter sur la longévité maximale.

Facteurs influant sur la qualité de coupe

La qualité de coupe pouvant être obtenue sur le bois et les matières plastiques dépend, non seulement des facteurs généraux susmentionnés, mais aussi des caractéristiques géométriques de l'outil de coupe, du nombre de dents, du mode de fixation de la lame et des conditions de travail.

Selon l'Ausschuss Wirtschaftliche Fertigung (AWF), il faut distinguer trois catégories de qualité de coupe, comme indiqué dans le tableau 3.

TABLEAU 3. QUALITE DE COUPE

(Selon l'AWF; dépend du sciage)

Catégorie	Utilisation	Caractéristiques de la surface	Qualité de la surface sciée
AWF I	Prêt pour le collage	Surface pouvant être plaquée	Sciage fin
AWF II	Prêt pour le placage	Surface pouvant être rabotée	Sciage moyen
AWF III	Prêt pour la construction	Surface assez bonne pour le bois de construction	Sciage grossier

Avec des lames à mise rapportée en carbure métallique, la qualité de coupe est toujours de la catégorie I ou II. La ligne d'avoyage doit toujours être très fine, il s'ensuit que sur les scies de grand diamètre couramment utilisées, la lame est assez instable; on peut accroître la stabilité en « redressant » et en « tendant » la lame.

Contrairement aux lames en acier au chrome-vanadium, les dents des lames à mise rapportée en carbure métallique ne sont pas avoyées : elles sont affûtées à la périphérie et sur les côtés. Les angles et dimensions ci-dessous sont importants pour décrire les lames à mise rapportée en carbure métallique (voir figure 4) :

- α Angle de pente d'affûtage
- β Angle de bec
- γ Angle de dépouille
- δ Angle au sommet
- ε Angle latéral
- γ_1 Angle de dépouille latérale
- λ Angle axial
- S Epaisseur du corps de la lame
- C Saillie du tranchant
- B Epaisseur de coupe
- FR Surface libre
- SP Surface du copeau

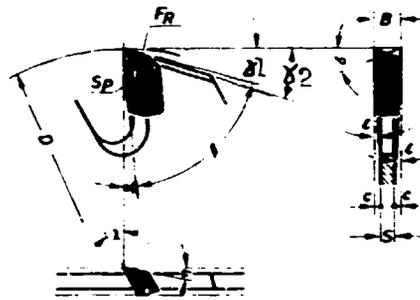
L'épaisseur de coupe (B) d'une lame en carbure métallique varie avec le diamètre de la lame (D).

Dans la pratique, on a constaté qu'une saillie latérale de 0,5 mm est particulièrement fonctionnelle pour le sciage de tous les bois (résineux, feuillus, denses, verts ou secs) et des matières plastiques de toutes sortes.

Dans des cas particuliers, on peut utiliser des saillies différentes, entre un minimum de 0,25 mm et un maximum de 0,75 mm.

Pour obtenir des surfaces de coupe propre, il faut que l'angle latéral ε soit parfaitement affûté. Il en est de même pour l'angle au sommet δ , dont la valeur dépend beaucoup des caractéristiques du matériau à scier.

Figure 4. Géométrie d'une lame à mise rapportée en carbure métallique



Les angles δ et λ sont partiellement interdépendants; le rapport de grandeur de ces angles influe sur la stabilité latérale de la lame

L'angle de dépouille latérale γ doit être le plus grand possible; toutefois, sa grandeur est limitée pour des raisons techniques d'affûtage. Dans les scies circulaires, l'angle de pente d'affûtage α n'a pas un rôle déterminant.

La forme des dents et la grandeur des angles sur les lames de scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique sont surtout choisies en fonction des caractéristiques du matériau à travailler par enlèvement de copeaux. Les différences de poids spécifique, de dureté et d'humidité des bois naturels, ainsi que les différences de résistance des matériaux à base de bois et des matières plastiques, excluent toute possibilité d'établir une forme universelle pour les dents des scies.

En conséquence, les dents de scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique doivent être choisies en fonction du matériau à travailler. Plus le domaine d'utilisation d'une scie circulaire est restreint et plus on peut s'attendre à de bons résultats de coupe.

Nombre optimal de dents

Le nombre de dents (Z) d'une lame de scie circulaire peut influencer énormément sur la qualité de la coupe. Pour couper le bois dans le sens transversal ou du contre-plaqué, il faut toujours utiliser des lames ayant un très grand nombre de dents. Pour scier sans les ébrécher des panneaux recouverts de matières plastiques sur les deux faces, il faut utiliser des lames ayant le plus grand nombre de dents possible.

Le pas, t , des dents est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$t = \frac{\pi D}{Z}, \text{ où le diamètre } D \text{ est exprimé en millimètres.}$$

Pour des raisons techniques d'affûtage, il est conseillé de ne jamais utiliser de lames à mise rapportée en carbure métallique ayant un pas inférieur à 12 mm. Plus il y aura de dents de prise et plus le travail de la lame sera précis pendant la coupe. Quand le matériau est peu épais, il vaut mieux utiliser des lames à très grand nombre de dents. Par contre, pour les grandes profondeurs de coupe (surtout quand il s'agit de bois massifs et qu'il faut obtenir une bonne évacuation des copeaux), il vaut mieux utiliser des lames à nombre de dents réduit.

Position de la lame de scie circulaire

La position exacte de la lame doit être déterminée chaque fois, après plusieurs tentatives. Quand la lame est déplacée vers le haut (c'est-à-dire quand la saillie augmente), les angles de coupe sont moins

précis du côté inférieur, mais plus précis du côté supérieur. En diminuant la saillie du tranchant, les angles de coupe deviennent plus précis du côté inférieur.

Données de travail indicatives

Le diamètre de la lame (D) doit être choisi en fonction de la profondeur de coupe (a) et de la vitesse de rotation de la broche de la machine (n). Il est préférable, du point de vue économique, de disposer de plusieurs vitesses de coupe. Une augmentation de la vitesse de rotation de la broche se traduit par une instabilité moindre de la lame et une meilleure précision de coupe.

On peut calculer la vitesse de rotation de la broche à l'aide de la formule suivante :

$$tr/mn = \frac{v \times 60}{D \times 3,14}$$

v étant exprimé en m/s et D en m.

Il faut utiliser une faible vitesse de coupe (v) pour des bois suscitant une forte usure de l'outil ou des matières plastiques sensibles à la chaleur. En revanche, pour les bois tendres et les matières plastiques ne posant aucun problème pour ce qui est de l'enlèvement des copeaux, on a intérêt à utiliser des vitesses de coupe moyennes ou fortes.

Lorsqu'il faut avoir recours à l'avance manuelle du matériau (à une vitesse qui est de l'ordre de 6 m/mn), c'est la vitesse de rotation maximale qui convient le mieux, étant donné que la force de poussée est alors moins grande.

Quelques valeurs indicatives des vitesses de coupe sont données dans le tableau 4.

TABLEAU 4. VITESSES DE COUPE (v) INDICATIVES POUR SCIES CIRCULAIRES

Matériau à scier	Propriétés du matériau	Vitesse de coupe approximative (v en m/s)
Bois naturels		70-100
Bois stratifiés	Avec ou sans bois à faible poids spécifique	60-90
Bois densifiés	Bois à fort poids spécifique et imprégnés (stratifiés pressés, contre-plaqués pressés, etc.)	35-70
Bois naturels densifiés	Propriétés physiques et mécaniques fortement augmentées par rapport à l'état naturel	35-70
Matières plastiques dures	Panneaux stratifiés avec couches internes de matières organiques ou inorganiques	35-70
Matières thermoplastiques	Faible résistance mécanique, forte sensibilité thermique	25-50

Pour calculer la vitesse de coupe (v), il faut utiliser la formule suivante :

$$v = \frac{3,14 \times D \times n}{60}$$

où D est exprimé en mètres et n est le nombre de tr/mn.

Cette relation permet de calculer le diamètre voulu pour une vitesse de coupe donnée :

$$D = \frac{60 v}{3,14 n} \approx 20 \frac{v}{n}$$

La vitesse tangentielle de la dent de scie (ou vitesse de coupe) pour divers matériaux est donnée dans le tableau 5. L'épaisseur moyenne du copeau (hm) dépend de la profondeur de coupe (a) et du matériau usiné.

L'épaisseur moyenne des copeaux ne devrait jamais être inférieure à 0,02 mm; des valeurs inférieures impliquent une diminution considérable de la durée de l'outil. Des copeaux trop minces résultent de l'instabilité de la lame.

TABLEAU 5. VITESSE TANGENTIELLE DE LA DENT DE SCIE POUR DIVERS MATERIAUX

Matériau	Vitesse de coupe (m/s)
Résineux	70-100
Feuillus	50-80
Bois tropicaux très durs	30-60
Panneaux de particules et panneaux en contre-plaqués	40-70
Panneaux de particules denses (plus de 720 kg/m ³)	35-50
Bois densifiés et traités avec des résines synthétiques (900-1 400 kg/m ³)	30-60
Stratifiés en matières plastiques	30-60

Plusieurs variables interdépendantes doivent être prises en considération pour calculer la vitesse de coupe :

- A = avance par dent (en mm)
- S = avance du matériau (m/mn)
- Z = nombre de dents
- n = tr/mn

On a la relation : $Z = \frac{S}{nA}$

Le tableau 6 donne la valeur de A (avance par dent) pour divers matériaux.

TABLEAU 6. AVANCE PAR DENT (A)

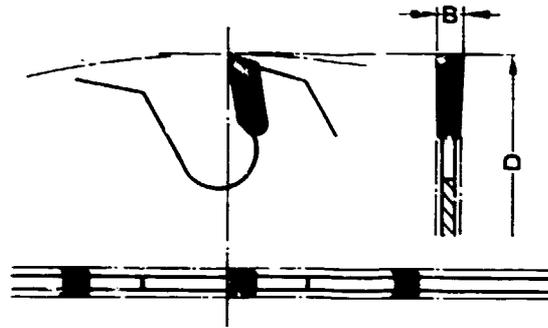
Matériau	Avance par dent (mm)
Stratifiés plastiques	0,03-0,05
Panneaux minces ou en bois tendre — bois tranché (0,6 mm) sur bois de support (panneaux ou placages). Panneaux de particules peu résistants à l'extraction des v s (poids spécifique faible ou moyen). Panneaux de particules extrudés ou pressés (avec trous longitudinaux). Panneaux thermoplastiques (CPV, etc.)	0,05-0,08
Panneaux de particules, contre-plaqués, panneaux de fibres, placages	0,07-0,10
Bois massif à scier transversalement	0,09-0,12
Bois dur à scier dans le sens des fibres	0,12-0,15
Panneaux de particules sans revêtement	0,09-0,12
Bois tendre à scier dans le sens des fibres	0,15-0,20

Note. Pour le travail en opposition, utiliser la vitesse inférieure. Pour le travail en concordance, utiliser la vitesse supérieure. Il s'agit de valeurs indicatives pour des épaisseurs allant jusqu'à 40 mm.

Formes de dents

Les figures 5 à 8 montrent diverses formes de dents à mise rapportée en carbure métallique. Pour chacune, on indique son utilisation et ses avantages.

Figure 5. Dent droite



Utilisations :

- Coupe en concordance de tous matériaux
- Coupe en opposition, dans le sens longitudinal, de bois massif (résineux ou feuillus)

Avantages :

- Usure faible et lente de l'arête tranchante
- Entretien facile
- Convient particulièrement pour matériaux peu sujets à l'ébrèchement

Figure 6. Dent à arêtes inclinées alternativement



Utilisations :

- Travail en opposition, avec lame universelle

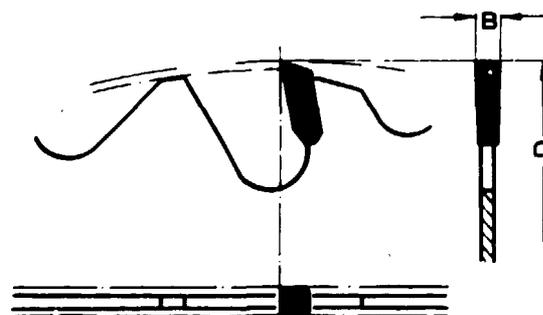
Avantages :

- Coupe progressive de la pointe vers la base de la dent
- Réduction de moitié de l'épaisseur de coupe, d'où réduction du risque d'ébrèchement

Inconvénients :

- Seule une dent sur deux travaille

Figure 7. Dent droite avec limiteur de copeaux

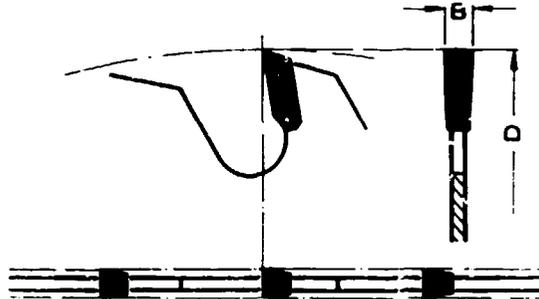


Avec scie simple à avance manuelle; travail normal en opposition; convient pour le découpage de bois tendres dans le sens longitudinal. Peut être également utilisée sur scie multilames.

Avantages :

Le limiteur de copeaux, servant aussi de butée, assure une avance silencieuse et uniforme et protège la dent des ruptures provoquées par des nœuds ou des éclats de bois

Figure 8. Dent à arête concave



Utilisations :

Travail normal en opposition

Avantages :

Etant donné l'affûtage concave, les deux pointes sont avancées par rapport au centre de l'arête tranchante

La coupe est toujours progressive, mais dans une mesure moindre qu'avec des dents alternées

La courbe symétrique de l'arête tranchante facilite la pénétration des deux pointes

Inconvénients :

Pas de subdivision de la coupe

Pour un même diamètre, on dispose d'un plus petit nombre de dents, étant donné qu'il faut laisser un espace suffisant pour le passage des meules d'affûtage

Entretien coûteux

Si l'avance n'est pas parfaitement horizontale, la qualité de coupe en est affectée

Les dents sont plus petites que les dents normales, parce qu'il faut prévoir l'évacuation pendant le travail de la meule.

Fraises pour le travail du bois

Pour que l'épaisseur des copeaux soit optimale, ce qui permet d'obtenir un plus grand enlèvement de copeaux par unité de temps, il faut choisir une fraise fabriquée avec des matériaux adéquats, afficher des avances appropriées et une vitesse de coupe correcte. Ces exigences de travail ne peuvent être satisfaites qu'avec des matériaux de qualité supérieure, tels que les aciers ultrarapides et les carbures métalliques. L'épaisseur des copeaux ne doit pas descendre au-dessous d'une certaine limite, sinon le frottement finirait par être supérieur à l'enlèvement et l'outil s'userait beaucoup trop rapidement. D'un autre côté, l'épaisseur ne doit pas être trop grande, sinon le bois risquerait d'être ébréché.

Sens de rotation

Les fraises peuvent travailler en concordance (figure 9) ou en opposition (figure 10).

Lorsque la fraise travaille en concordance, la finition est meilleure parce que la dent commence l'enlèvement du copeau à son épaisseur maximum; l'enlèvement est donc graduel, ce qui évite le risque de fentes et ébrèchements, et permet d'utiliser de plus grandes vitesses d'avance. En revanche, ce mode de travail ne permet pas l'emploi de machines à avance manuelle (parce que la fraise tire la pièce à usiner); il exige des fraises à plus grand angle de dépouille et provoque une usure plus rapide de l'outil. Quand la fraise travaille en opposition, l'enlèvement commence par une épaisseur minimum et l'arête ne rencontre pas une épaisseur de bois suffisante; elle comprime donc le bois, puis commence la phase de pénétration. La section du copeau tend à augmenter rapidement et l'enlèvement a lieu de façon brusque.

Figure 9. Fraise travaillant en concordance

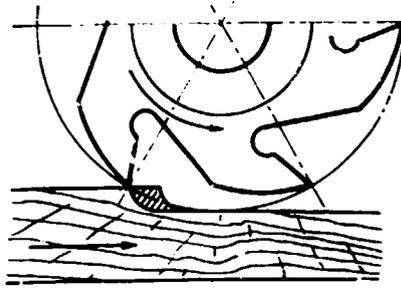
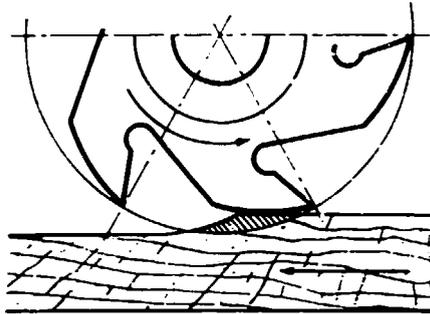


Figure 10. Fraise travaillant en opposition



Caractéristiques des fraises

Les fraises pour le travail du bois peuvent être faites avec les matériaux suivants :

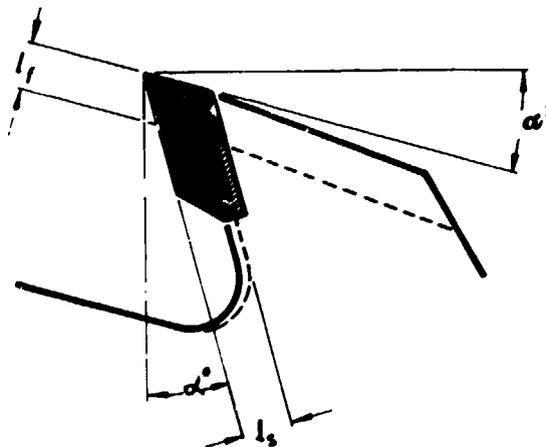
a) Alliage d'acier ultrarapide et de Cr-W-Mo-V. Connus commercialement sous le sigle HSS, cet acier est spécialement indiqué pour des vitesses de coupe normales; sa résistance à l'usure est assez bonne. Il est recommandé pour toutes espèces de bois naturels. Aujourd'hui, les fraises en HSS ne sont plus très utilisées;

b) Alliage d'acier ultrarapide et de Cr-W-Mo-V-Co. Cet alliage permet de grandes vitesses de coupe et il a une très bonne résistance à l'usure. Cet alliage au cobalt a presque entièrement remplacé l'alliage HSS. Il est recommandé pour toutes espèces de bois naturels et pour les travaux en grande série;

c) Mise rapportée en carbure métallique. Connus commercialement sous le sigle HM, les carbures métalliques se prêtent parfaitement au travail des bois très durs et des matières plastiques.

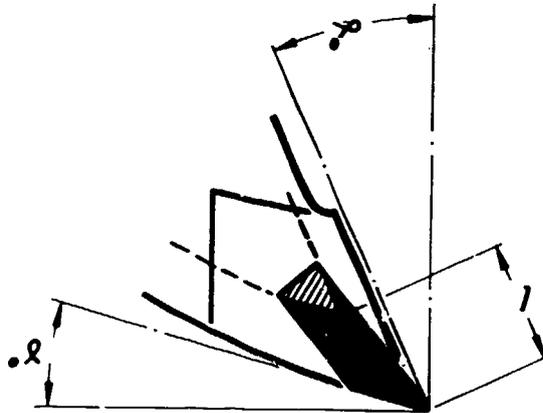
Les figures 11, 12 et 13 montrent la disposition des mises rapportées en carbure métallique.

Figure 11. Disposition radiale



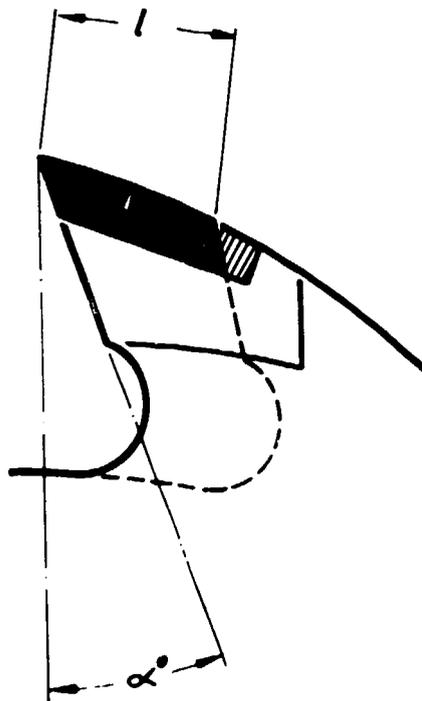
La disposition radiale est souvent employée, en raison de sa simplicité de construction et de sa facilité d'entretien. Le remplacement des plaquettes (mise) ne pose aucun problème.

Figure 12. Disposition inclinée



L'usure des plaquettes inclinées est constante et proportionnée pendant l'affûtage. Cette disposition est peu utilisée, à cause du coût élevé de production des plaquettes. Le remplacement des plaquettes est impossible.

Figure 13. Disposition tangentielle



La disposition tangentielle est normalement employée pour des fraises à profil constant (angle de dépouille logarithmique) et sur fraises devant conserver autant que possible leur diamètre maximum (il doit se réduire le moins possible pendant l'affûtage).

Disposition des arêtes tranchantes

Plusieurs dispositions sont possibles (figure 14) :

a) Arêtes parallèles à l'axe, pour le travail des bois et matières plastiques en général. Cette disposition est employée parfois pour outils à profil et fréquemment pour porte-outils;

b) Arêtes inclinées alternativement, pour le travail des bois massifs et des matières plastiques quand on veut obtenir des angles de coupe sans ébrèchement;

c) Arêtes inclinées d'un seul côté, pour le travail des bois revêtus de matières plastiques ou d'un placage d'un seul côté;

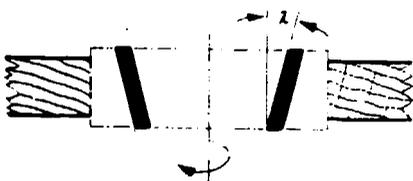
d) Arêtes inclinées d'un côté et convergentes vers le centre, pour le travail de bois recouverts sur les deux faces de contre-plaqués, matières plastiques, etc. Cette disposition est particulièrement conseillée pour obtenir une coupe très nette. L'angle d'inclinaison varie de 5° à 15°, selon l'épaisseur des dents de l'outil.

Les fraises à mise rapportée en carbure métallique doivent être choisies en fonction du travail à effectuer.

Figure 14. Dispositions des arêtes tranchantes



A. Arêtes parallèles



B. Arêtes inclinées alternativement



C. Arêtes inclinées d'un seul côté



D. Arêtes inclinées par paires et convergentes

Outils pour machines à moulurer, tenonner et mortaiser

Les outils peuvent être :

a) Sans inciseurs. Les dents d'ébauche sont inclinées alternativement à gauche et à droite, avec

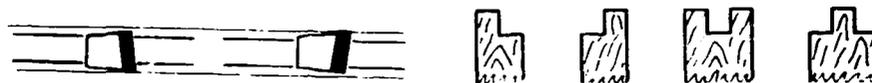
taille des deux côtés (figure 15A). (Pour rainures, mortaises et tenons sur bois massif et panneaux de particules.)

b) Avec un inciseur de chaque côté. Dents d'ébauche inclinées alternativement, avec taille des deux côtés (figure 15B);

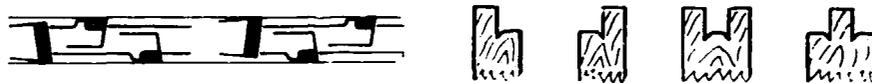
c) Avec inciseurs alternativement à droite et à gauche. Dents d'ébauche inclinées alternativement, avec taille des deux côtés (figure 15C). (Pour rainures, mortaises et tenons sur bois massif, stratifié et panneaux de particules.)

d) Avec inciseurs d'un seul côté (droite ou gauche). Dents d'ébauche inclinées d'un seul côté (figure 15D). (Pour panneaux plaqués ou recouverts de matières plastiques, quand les angles de coupe doivent être parfaits.)

Figure 15. Outils de coupe avec ou sans inciseurs; coupes obtenues



A. Sans inciseurs



B. Avec inciseurs de chaque côté



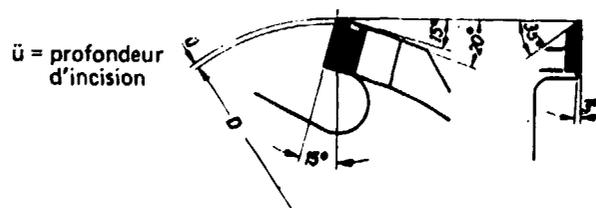
C. Avec inciseurs alternativement à droite et à gauche



D. Avec inciseurs d'un même côté

Les inciseurs sont toujours nécessaires, dans le travail du bois, quand l'outil coupe dans le sens transversal du bois ou quand il faut travailler des panneaux de bois plaqués ou revêtus de matières plastiques. Le nombre d'inciseurs de chaque côté de l'outil dépend du degré de finition de l'angle désiré et de la vitesse d'avance (figure 16).

Figure 16. Inciseur



Le tableau 7 montre les angles de travail pour divers matériaux.

Le tableau 8 montre les vitesses de coupe approximatives selon les matériaux.

TABLEAU 7. ANGLES DE TRAVAIL POUR DIVERS MATERIAUX
(En degrés)

Matériaux à usiner	Angles de travail pour								
	Outils en HSS			Outils en carbure métallique			Porte-outils		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
Bois tendres	30	45	15	25	50	15	20	55	15
Bois durs	25	50	15	20	55	15	20	55	15
Stratifiés, contre-plaqués (non pressés,				15	60	15	20	55	15
Stratifiés, pressés et collés				12	63	15	12 ^a	63	15
Matières thermoplastiques				12	63	15	12 ^a	63	15
Matières plastiques therm. durcissables				20	55	15	20	55	15

^a Les lames à mise rapportée en carbure métallique doivent être fûtées sur 0,3 mm pour renforcer l'arête tranchante.

TABLEAU 8. VITESSES DE COUPE APPROXIMATIVES POUR DIVERS MATERIAUX

Matériau	Vitesse de coupe, dents droites (m/s)	Vitesse de coupe, dents profilées (m/s)	Observations
Bois naturels	30-70	30-65	
Bois stratifiés	30-60	25-50	A faible poids spécifique (contre-plaqués, etc.)
Bois stratifiés	25-50	20-45	Poids spécifique élevé et bois imprégnés (stratifiés pressés, contre-plaqués pressés, etc.)
Bois massifs compressés	25-50	20-45	
Matières plastiques dures	30-60	25-50	Panneaux stratifiés avec couches internes en matières organiques ou inorganiques
Matières thermoplastiques	25-50	20-45	Faible résistance mécanique, forte sensibilité thermique

Porte-outils

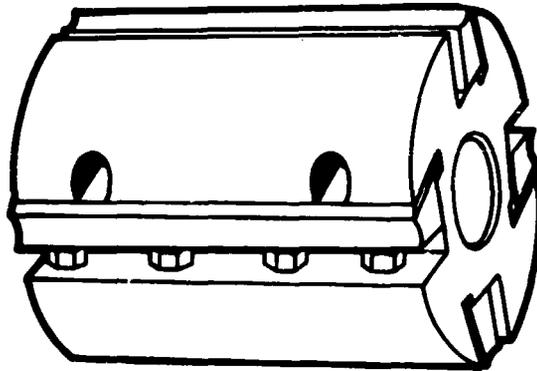
Les porte-outils sont utilisés couramment pour le rabotage et le surfacage dans le sens de la fibre du bois. La technique de travail est la même pour les raboteuses, les dégauchisseuses et pour des machines plus complexes, comme les machines à moulurer. Les porte-outils sont faits en alliage d'acier à haute résistance; ils sont normalement munis de quatre lames, bloquées dans des logements pratiqués dans le porte-outils au moyen de coins et de vis (figure 17). Les coins, de même longueur que la lame, sont trempés et usinés de sorte à empêcher toute sortie de la lame pendant le travail. Le remplacement des lames est très rapide. Pour obtenir un réglage parfait, on utilise des calibres ou des gabarits périphériques qui maintiennent alignées les lames poussées à l'arrière par des ressorts en acier incorporés dans le porte-outils.

Sur les machines à moulurer, on utilise actuellement des porte-outils en alliage léger spécial, à très haute résistance.

Fraises pour défonceuses

Pour des raisons de stabilité, les fraises de petites dimensions sont généralement réalisées avec queue d'attache cylindrique ou bien cône Morse. Leur diamètre de coupe étant relativement petit, ces outils travaillent souvent à une vitesse de coupe inférieure à la plage de vitesse optimale quand ils sont montés sur toupies. Par conséquent, ces outils ne sont employés rationnellement que sur des machines à très grande vitesse, comme les défonceuses, qui travaillent à plus de 12 000 tr/mn.

Figure 17. Porte-outils



Les défonceuses utilisent le plus souvent des fraises à une dent pour le travail avec gabarit. Les fraises doivent être bloquées dans le mandrin excentrique, de sorte que la dent de l'outil assure une taille libre dans la base du trou et exclue toute pression périphérique de la fraise. En conséquence, l'angle de pente d'affûtage effectif ne peut varier que dans certaines limites. Lorsque $\gamma_1 = 30^\circ$, l'angle de pente d'affûtage atteint sa valeur optimale. Ce positionnement est conseillé pour le travail de bois tendres par enlèvement de copeaux.

Avec un angle de positionnement supérieur, c'est-à-dire γ_1 de l'ordre de 50° , l'angle de pente d'affûtage et le diamètre, D , de la fraise diminuent. Ce positionnement est recommandé pour le travail des bois stratifiés, matières plastiques et alliages de métaux légers. L'excentricité est égale à la distance moyenne entre la dent secondaire de l'outil et l'axe de la fraise. Ces fraises travaillent généralement en opposition, pour empêcher que la pièce ne se casse dans le sens de l'avance. Les fraisages extérieurs et intérieurs sont exécutés sur une table profilée posée sur un panneau profilé (contre gabarit). Pour le fraisage de rainures simples et parallèles aux arêtes extérieures de la pièce, une butée angulaire est suffisante; dans les autres cas, le panneau profilé doit être muni d'un gabarit à copier. Si le copiage est réalisé au moyen d'une touche, c'est-à-dire avec un très grand jeu du panneau profilé, le sens de rotation de la fraise doit être inverse au sens d'avance de la pièce usinée. La table gabarit ne doit être déplacée qu'avec les bras, et non avec le poids du corps, comme le font certains ouvriers, en raison du risque de rupture de l'outil qu'implique une avance mal contrôlée.

Fraises pour défonceuses

Les fraises à une dent pour défonceuses sont plus ou moins instables selon leur forme (figure 18).

On s'en aperçoit surtout pendant le copiage, lorsqu'on travaille avec de très grandes profondeurs de coupe et que les efforts de coupe sont intenses et intermittents. En pareil cas, il vaut mieux utiliser des fraises à deux dents, qui sont plus stables (figure 19).

Ces outils sont fixés concentriquement dans le mandrin; ils ont une queue d'attache cylindrique ou bien un cône Morse selon la norme DIN 228.

Entretien

La fraise en carbure métallique, tout comme la lame de scie circulaire à mise rapportée en carbure métallique, est un outil de valeur et doit donc être entretenue en conséquence. Ces outils ne sont pas

Figure 18. Fraises à une dent pour défonceuse

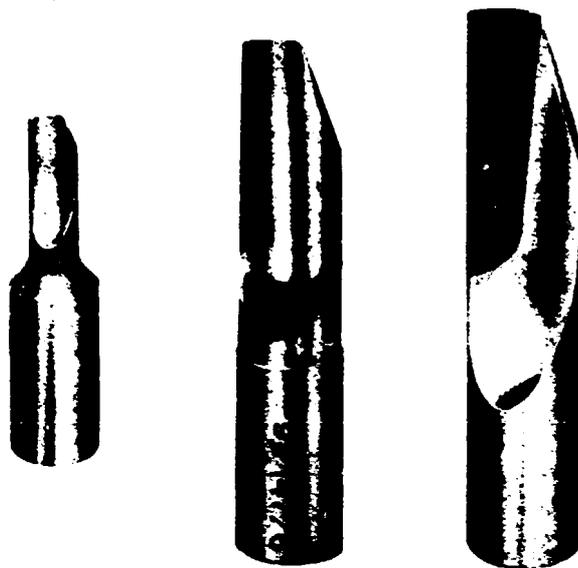


Figure 19. Fraises à deux dents pour défonceuse



particulièrement délicats, mais ils doivent être maintenus en parfait état. Les dents ou plaquettes en carbure métallique doivent être protégées des chocs et ne jamais reposer sur des supports durs. Le travail terminé, l'outil doit toujours être remis dans son étui. Les moyeux des fraises, les bagues d'écartement et les brides de blocages doivent toujours être parfaitement propres. Les lames de scie doivent également être très propres, car les encrassements par des dépôts de résines ou autres matières peuvent provoquer un surchauffement de la lame pendant le travail (la lame devient bleuâtre), ce qui nuit à la fois à la durée de vie de la lame et à son tensionnage. Des dissolvants spéciaux sont en vente sur le marché pour décrasser les lames (si on ne peut pas s'en procurer, il faut immerger les lames pendant quelque temps dans une solution d'eau et de soude caustique). Les outils à mise rapportée en carbure métallique et les outils en acier ultrarapide doivent être affûtés en temps utile. Il n'est pas économique de continuer à travailler avec des outils dont la capacité de coupe a considérablement diminué. Si les

outils de coupe sont très usés, leur affûtage est plus long et plus coûteux, la meule s'use davantage et les dimensions des piauquettes diminuent sensiblement. Il faut donc contrôler régulièrement l'état de l'arête tranchante des dents. L'arrondissement de l'arête ne devrait jamais dépasser 0,2 mm, car dans le cas contraire les efforts de coupe augmenteraient.

Affûtage

Pour que les outils travaillent parfaitement, il faut qu'ils soient très bien affûtés et que les angles de coupe initiaux soient respectés. L'atelier d'affûtage doit donc être équipé du matériel suivant :

a) Une affûteuse universelle pour outils. Elle doit être robuste, exempte de vibrations et la broche porte-meule doit être montée sur un support permettant la rotation sur les deux axes. La broche doit avoir au moins deux vitesses de rotation — 2 800 et 5 500 tr/mn — afin de pouvoir utiliser des meules de différents diamètres à la vitesse appropriée. Un chariot mobile, monté sur glissières, doit être muni de dispositifs pour le réglage micrométrique du positionnement. La poupée porte-pièces, pivotante et inclinable, doit être munie d'un plateau diviseur normal à 24 divisions et d'une vis micrométrique pour l'affichage des angles. Les mandrins porte-fraises, à monter sur la poupée diviseur, doivent avoir la tolérance permise. Il faut, enfin, des bagues d'écartement plan parallèle et un comparateur pour le contrôle de la concentricité;

b) Une affûteuse automatique pour scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique, capable d'affûter avec la plus grande précision toutes les dents, quelle qu'en soit la forme;

c) Une affûteuse automatique pour l'abaissement du dos des scies circulaires à mise rapportée en carbure métallique; cette machine assure une distance constante entre le corps de la lame et la mise rapportée; elle garantit donc une parfaite concentricité et une parfaite évacuation. Cette opération était faite autrefois à la main; elle l'est encore quelquefois, en dépit de la perte de temps et de l'imperfection de la concentricité. La meule en diamant industriel enlève seulement le carbure métallique du tranchant, sans toucher à l'acier du corps de la lame (si elle le faisait, elle s'encrasserait trop rapidement, ce qui diminuerait considérablement sa durée de vie);

d) Une affûteuse automatique pour scies circulaires au chrome-vanadium, sur laquelle on peut affûter également les scies à ruban;

e) Un appareil à avoyer les scies à ruban et les scies circulaires au chrome-vanadium;

f) Une affûteuse automatique pour les lames de raboteuses-dégauchisseuses;

g) Une affûteuse automatique pour les lames de scies à ruban à grumes;

h) Une ponceuse d'étaöli, pour les travaux normaux de dégrossissage.

Règles générales d'affûtage

Enlever une quantité uniforme de métal de tous les tranchants; ainsi, les outils resteront bien équilibrés et sans excentricité.

Pour l'affûtage d'outils en HSS, utiliser des meules ayant le même rayon que la scie, en évitant de provoquer des échauffements locaux. Ne pas utiliser de meule à arêtes vives ou provoquant des échauffements, car on pourrait provoquer des ruptures qui compromettraient l'outil et le rendraient dangereux. Utiliser toujours un liquide d'arrosage pendant l'affûtage. Ne négliger aucune des trois phases de l'affûtage (dégrossissage, finition et rodage), car la dernière, que l'on considère souvent comme superflue, est la plus importante pour augmenter la durée de vie de l'outil.

Règles particulières d'affûtage

Les outils de défonceuses sont affûtés comme indiqué aux figures 20 à 23.

Les fraises profilées ne doivent être affûtées que sur la face d'attaque, sans altérer les angles de coupe initiaux, afin de ne pas modifier le profil (figure 24).

Etant donné que les outils des rainureuses ont généralement un profil constant, il ne faut affûter que la face en dépouille, afin que l'épaisseur de la rainure soit toujours la même (figure 25).

Les inciseurs des fraises pour feuillures et rainures ne doivent être affûtés que sur la face en dépouille; ils doivent dépasser de 0,3 à 0,6 mm (figures 26 et 27).

Pour les limiteurs de copeaux, il faut effectuer une rectification cylindrique en les maintenant en retrait de 0,6 à 0,8 mm (figure 28).

Pour l'affûtage des déchettes des tenonneuses doubles, il faut d'abord dévisser la scie à refendre du corps du déchetteur, puis monter les segments de coupe (secteurs) sur le corps du déchetteur. Si les secteurs sont positionnés pour la coupe en gradins, ils doivent être mis en position circulaire avant l'affûtage.

Figure 20. Affûtage d'une fraise double (arête biseautée)

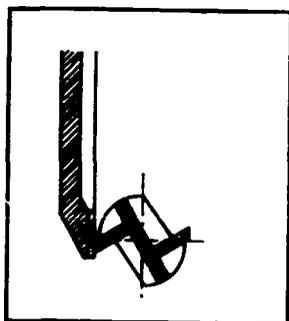


Figure 21. Affûtage d'une fraise double (arête droite)

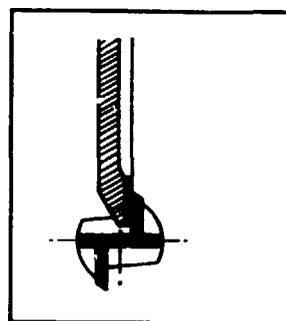


Figure 22. Affûtage d'une fraise simple

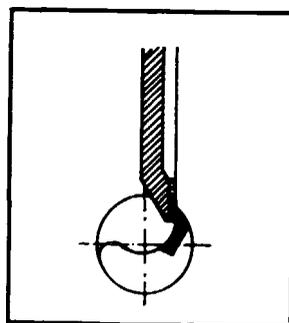


Figure 23. Affûtage avec disque abrasif à la forme de la fraise

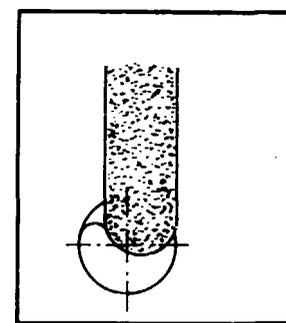
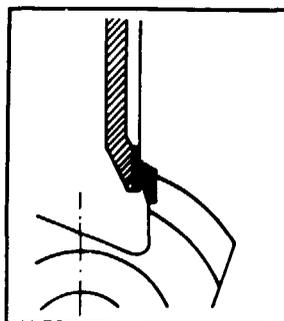


Figure 24. Affûtage d'une fraise profilée



Les lames de scies circulaires à mise rapportée doivent être affûtées sur la face d'attaque et en dépouille; les faces latérales ne doivent jamais être affûtées.

Les lames de scies circulaires au chrome-vanadium et les scies à ruban sont normalement affûtées avec des affûteuses automatiques qui restaurent le profil initial. Les scies à ruban et les lames de faible épaisseur doivent être affûtées et avoyées en même temps.

Figure 25. Affûtage d'un outil de rainureuse (face en dépouille)

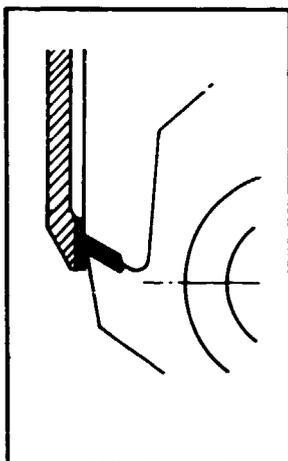


Figure 26. Affûtage d'un inciseur (face en dépouille)

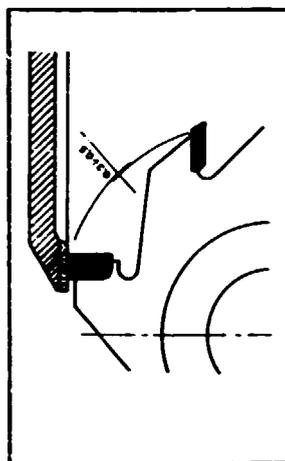


Figure 27. Affûtage d'un bédane

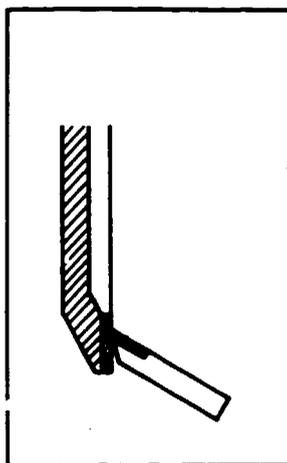
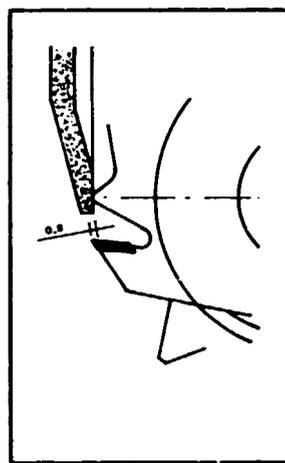


Figure 28. Rectification d'un limiteur de copeaux



Les mèches en HSS doivent être affûtées au moyen de disques abrasifs minces, de sorte que le tranchant et l'inciseur soient affûtés en même temps.

Règles de sécurité

Ne jamais utiliser un outil à alésage trop grand sans l'aide de la bague de réduction appropriée, calibrée avec la tolérance voulue.

Ne jamais utiliser un outil obliquement sur le sens d'avance pour obtenir une plus grande largeur de coupe.

Ne jamais réparer par soudure des outils rompus ou sérieusement endommagés.

Éviter d'utiliser des outils déséquilibrés. Les déséquilibres résultent généralement d'affûtages incorrects. S'assurer de la concentricité de l'outil et de la broche; toute erreur de concentricité supérieure à 0,01-0,02 mm doit être corrigée.

Ne jamais dépasser la vitesse de rotation maximale gravée sur l'outil ou indiquée sur la notice. Respecter toujours les vitesses de coupe idéales conseillées pour les différents matériaux.

Ne jamais utiliser d'outils avant d'avoir installé les dispositifs de protection prescrits.

VI. Installation électrique et autres installations générales dans les établissements de travail du bois*

L'évolution constante des machines et des moyens de production, les demandes toujours croissantes en matière de sécurité et de conditions de travail et les règles de protection de l'environnement exigent des installations générales de plus en plus perfectionnées, notamment dans le domaine de l'usinage du bois. En conséquence, la conception des installations générales doit aller de pair avec celle des travaux de génie civil et des installations technologiques, pour que les choix faits dans chacun des divers secteurs soient compatibles et coordonnés.

Comme les installations générales ne sont en essence que des services, le critère de choix sera le caractère fonctionnel de toute l'usine, compte tenu de son expansion éventuelle. Le but du présent chapitre est de fournir les lignes directrices pour un plan général de ces installations, sans prétendre traiter de manière exhaustive cette question complexe et sujette à de continuelles améliorations et innovations. On traitera successivement des installations suivantes :

- Installation électrique
- Evacuation des copeaux et de la sciure
- Air comprimé
- Production et distribution de chaleur
- Alimentation et distribution d'eau

Installation électrique

L'installation électrique comporte les éléments suivants :

- Poste de transformation
- Alimentation des machines
- Eclairage
- Mise à la terre et parafoudre
- Installations auxiliaires

Poste de transformation

La position toujours plus excentrée des usines par rapport aux centrales électriques et la demande toujours croissante de puissance électrique rendent pratiquement indispensable la fourniture d'énergie électrique en moyenne tension. Ceci incite les concepteurs à prévoir et à réaliser dans toute usine un ensemble « poste de connexion/poste de transformation ». Dans les petites et moyennes installations, les deux postes sont généralement adjacents; dans les grandes installations, ils sont séparés et le poste de transformation occupe une position centrale. Les transformateurs avec leurs sectionneurs, les protections et le tableau de commande sont installés dans le poste de transformation. Le tableau de commande contient les interrupteurs et disjoncteurs, ainsi que les départs des lignes vers les différents tableaux locaux. Dans un panneau du tableau se trouvent les condensateurs de mise en phase.

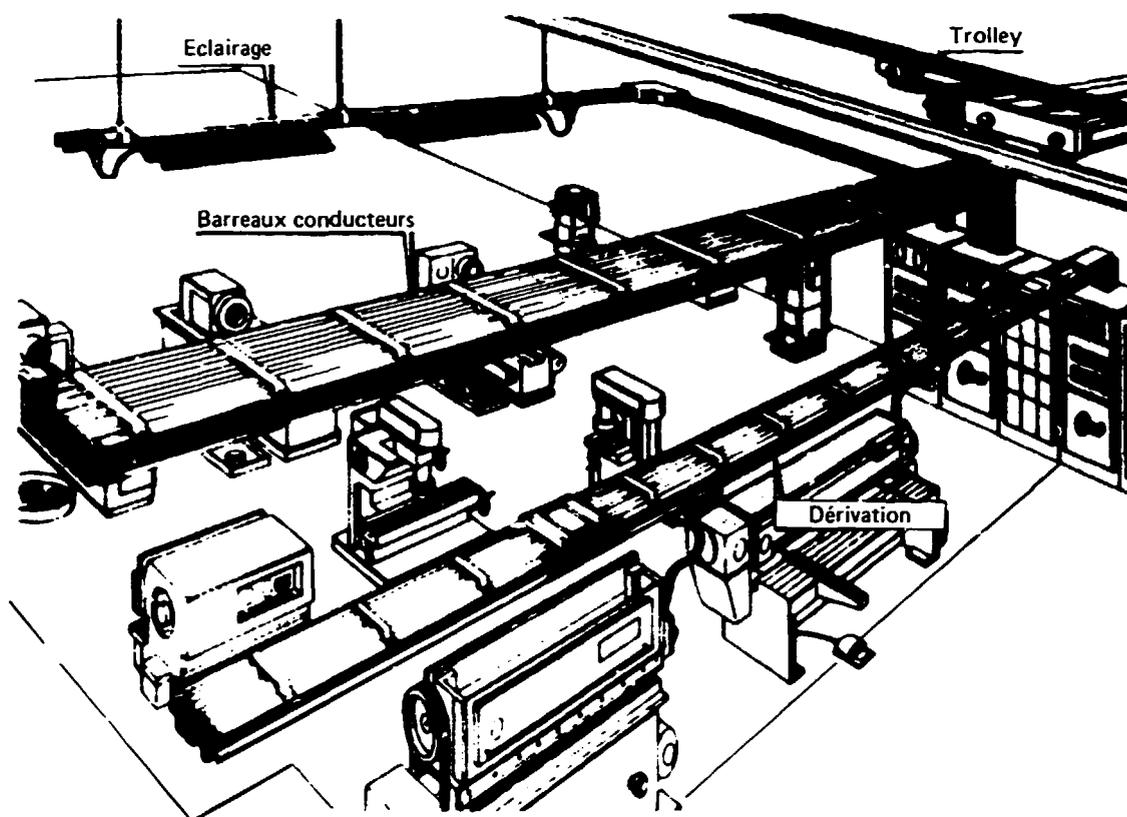
* Par A. Mottadelli, ingénieur-conseil indépendant. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/13.)

Alimentation des machines

Le mode de distribution le plus fréquemment adopté est le type radial : des barres de basse tension du transformateur, protégées par un interrupteur général, partent plusieurs lignes qui vont alimenter les tableaux locaux. La répartition et le nombre de ces derniers dépendent essentiellement de la disposition des machines. En général, on cherche à avoir un tableau par secteur ou service et on le place dans une zone centrale et facilement accessible du secteur. Les câbles primaires (ceux qui vont du transformateur aux tableaux locaux) sont généralement placés sous gaines en CPV souterraines, avec de fréquents regards d'inspection. La distribution secondaire est généralement assurée par des installations préfabriquées.

Les installations rigides (figure 1) sont composées de barres en cuivre ou en aluminium, de section rectangulaire, contenues dans une structure portante et munies d'une vaste gamme d'accessoires pour permettre la connexion rapide de dérivations et de protections.

Figure 1. Installation rigide



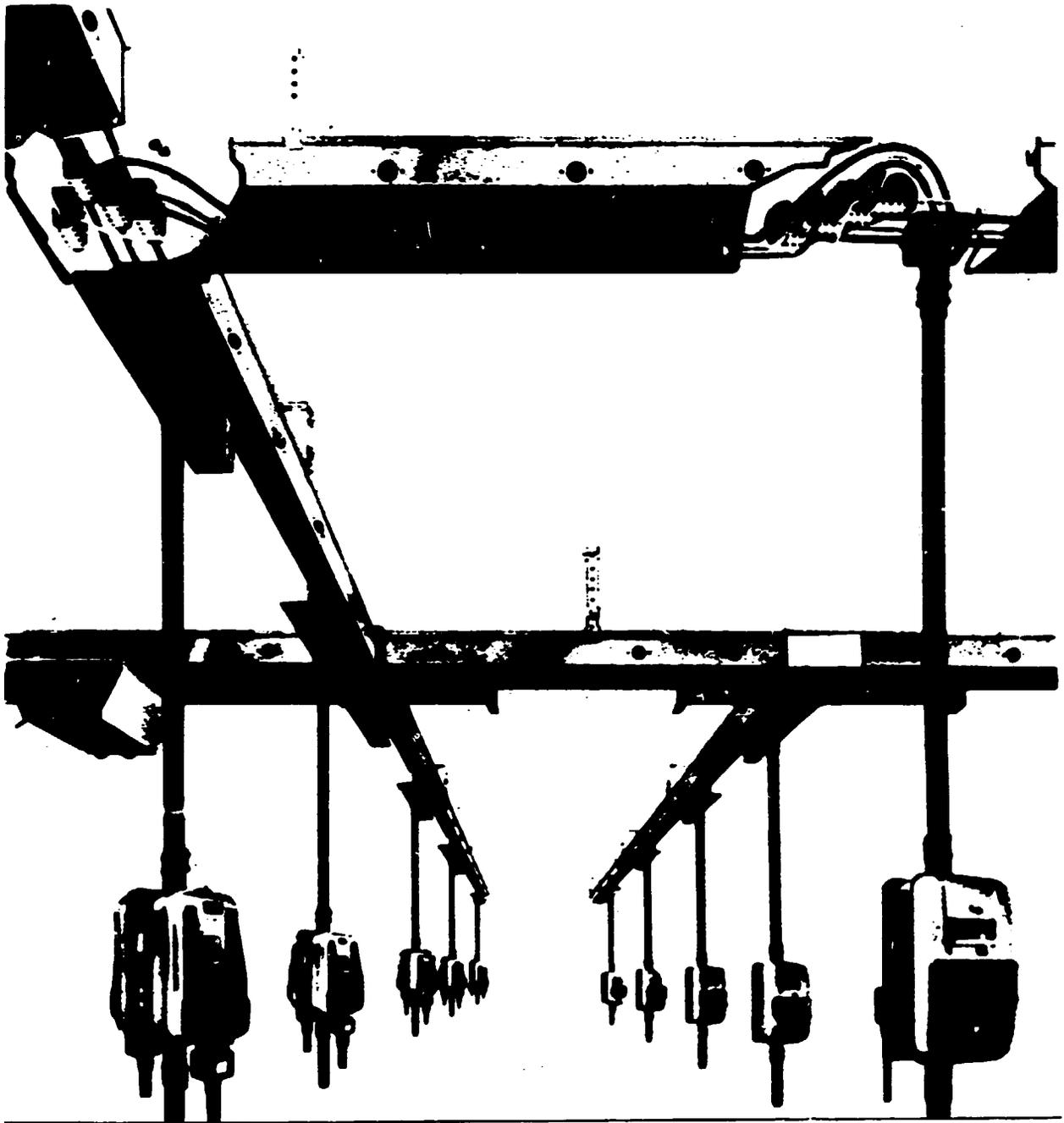
Elles offrent les avantages suivants :

- a) Indépendance des contraintes que peut imposer la structure des bâtiments ou la position des machines;
- b) Possibilité d'adapter l'installation à de nouvelles exigences de travail;
- c) Possibilité de démonter et de récupérer l'installation en cas de destination différente du bâtiment;
- d) Rapidité de montage et de démontage.

Leurs inconvénients sont les suivants :

- a) Coût supérieur à celui des installations souples;
- b) Nécessité d'une installation distincte pour les corps d'éclairage et leur alimentation;
- c) Possibilité plus limitée de sectionnement des lignes que dans le cas des installations souples.

Figure 2. Installation souple



Les installations souples sont constituées par des gaines et des boîtiers en tôle, fixés à la superstructure, dans lesquels sont placés des conducteurs en cuivre (figure 2). Ce type d'installation est celui qui est généralement adopté dans l'industrie du travail du bois, parce qu'en plus de la plupart des avantages propres aux installations rigides, il offre les suivants :

- a) Les corps d'éclairage - pour l'éclairage normal, de nuit ou de secours - peuvent être branchés sur les gaines, qui contiendront les câbles nécessaires;
- b) Les gaines peuvent contenir les câbles pour les installations de signalisation, de recherche des personnes, de hauts-parleurs, etc.;

c) Il est possible d'alimenter directement plusieurs groupes de machines à partir du tableau local, par exemple la ligne de dressage-chanfreinage avec un feeder séparé du feeder alimentant les presses;

c') Il est toujours possible d'augmenter la puissance de la ligne en ajoutant un nouveau câble en parallèle avec le premier.

Dans certains cas, les deux systèmes, rigide et souple, se complètent : on peut avoir un réseau général souple et quelques dérivations secondaires du type rigide. Par exemple, l'alimentation des ponts roulants est assurée par un système souple, tandis que des portions rigides sont utilisées pour les chaînes de montage, sujettes à des modifications rapides; sur les bancs de coupe des tissus et des peaux, on utilise le système souple pour l'alimentation des coupeuses et de petites portions rigides pour les machines à coudre.

La connexion aux machines est faite au moyen de gaines en CPV ou en métal dans lesquelles sont placés les câbles d'alimentation et de mise à la terre. La protection en amont de la machine est assurée par un disjoncteur.

Eclairage

L'installation d'éclairage comprend :

Eclairage normal

L'éclairage normal doit assurer la répartition la plus uniforme possible de lumière, sans ombres et sans reflets. Pour les bâtiments de hauteur moyenne (5,5 m), on adopte de préférence des corps d'éclairage à lampe fluorescente de 65 W qui assurent la plus grande économie à égalité de lux. Les valeurs d'éclairage recommandées sont 200-250 lux pour les ateliers et 80-100 lux pour les magasins.

Eclairage de nuit et extérieur

Pour l'éclairage de nuit, une série de lampes fluorescentes (généralement de 20 W) est alimentée par un circuit séparé. Un deuxième circuit alimente les lampes extérieures. Les deux circuits peuvent être commandés par un relai automatique crépusculaire.

Mise à la terre et parafoudre

Tous les appareils électriques et les masses métalliques doivent être mis à la terre. Il faut donc poser à l'intérieur de l'usine une ligne fermée, si possible circulaire, de section adéquate, reliée à la terre par des puits de dispersion. Il est également opportun d'avoir un parafoudre suffisant pour couvrir toute l'aire de l'usine.

Installations auxiliaires

Ce sont toutes les installations qui, tout en n'étant pas essentielles, répondent à des besoins assez répandus :

Recherche des personnes, par signaux sonores ou lumineux, ou par radio

Téléphone intérieur

Hauts-parleurs

Eclairage de secours, assuré par des batteries d'accumulateurs

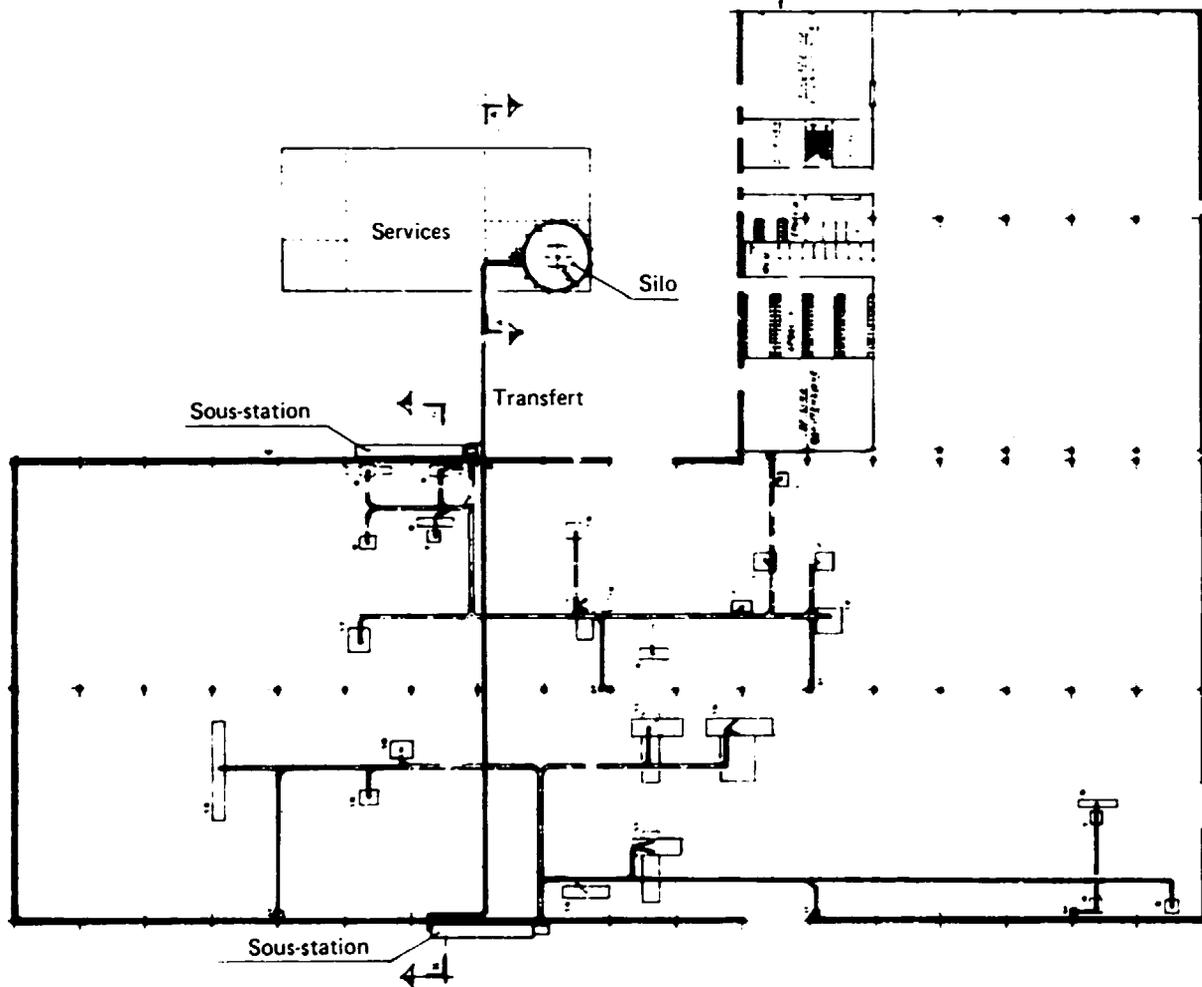
Force motrice de secours, produite par des groupes électrogènes, en cas de panne ou de coupure du réseau.

Evacuation des copeaux et de la sciure

Normalement, cette installation a deux fonctions : collecter les copeaux et la sciure produits par les machines; les transporter ensuite d'un point à un autre de l'établissement.

Dans les établissements où on usine le bois et les panneaux, on s'intéresse principalement à la première fonction et on met l'accent sur l'enlèvement des copeaux et de la sciure, quelle que soit la consommation d'énergie afférente. Dans les établissements où les copeaux et la sciure constituent un matériau, par exemple pour la fabrication de panneaux de particules, la seconde fonction est la plus importante. Il s'agit alors d'évaluer s'il est plus avantageux d'adopter un transport pneumatique ou un transport mécanique.

Figure 3. Transport pneumatique



Un transport pneumatique a ces avantages :

- a) Simplicité mécanique;
- b) Possibilité de faire des parcours complexes avec un minimum de tubes;
- c) Possibilité de passer au-dessus ou au-dessous de bâtiments, routes, etc., et, en tout cas, dans des zones dont l'accès pour l'entretien serait difficile;
- d) Facilité de modification de l'installation initiale.

Il a ces inconvénients :

- a) Forte consommation d'énergie (à peu près cinq fois plus qu'un transport mécanique);
- b) Limitation des dimensions des copeaux transportables;
- c) Difficulté de séparation de l'air et des matériaux en fin de transport, ce qui rend nécessaire l'installation de séparateurs encombrants et coûteux.

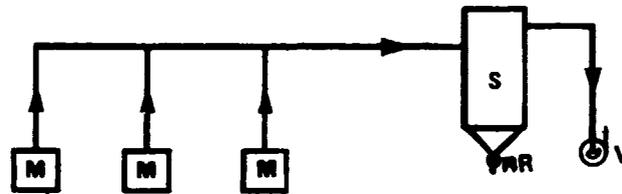
Procédés

Systeme « aspiration »

Ce système est schématisé dans la figure 4. Ses avantages sont :

- a) Simplicité de construction;
- b) Il est possible d'aspirer le matériau, soit de machines, soit de tas;
- c) Le ventilateur n'est pas traversé par le matériau.

Figure 4. Transport pneumatique, par aspiration



Légende : M Machine
R Valve rotative
S Silo ou sous-station
V Ventilateur

Il a pour inconvénients :

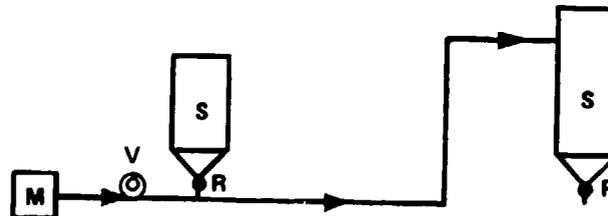
- a) Capacité limitée, parce qu'il est difficile d'obtenir une dépression inférieure à 0,4 atm avec des ventilateurs et de 0,9 atm avec des pompes;
- b) Aux fortes dépressions, l'air transporte difficilement le matériau.

Systeme « pression »

Ce système est schématisé dans la figure 5. Ses avantages sont :

- a) Possibilité d'augmenter les pressions à volonté;
- b) Plus grande densité de l'air, qui soutient mieux le matériau.

Figure 5. Transport pneumatique, par pression



Légende : M Machine
R Valve rotative
S Silo ou sous-station
V Ventilateur

Il a pour inconvénients :

- a) Impossibilité d'utilisation pour collecter les copeaux et la sciure des machines;
- b) Difficulté d'entrée du matériau dans les tubes.

Système mixte

Les deux systèmes — aspiration et pression — peuvent être combinés de manière à conserver les avantages de chacun, tout en minimisant leurs inconvénients.

Choix de l'installation

L'installation peut être centralisée, à sous-stations ou mixte.

Installation centralisée

Lorsque les machines sont groupées sur une surface limitée, à proximité de la zone des services, il est préférable d'avoir une installation centralisée (figure 6A), dont la caractéristique est d'avoir un réseau de tubes aboutissant directement à un poste d'ensilage unique.

Installation à sous-stations

Dans les grandes usines où divers groupes de machines occupent plusieurs zones éloignées les unes des autres, il vaut mieux avoir une installation à sous-stations (figures 6B et 6C). Chaque groupe de machines est relié à son propre poste de collecte-filtrage (sous-station), équipé d'une trémie plus ou moins grande. Les copeaux et la sciure sont extraits de cette trémie, continuellement ou périodiquement, et envoyés au silo central par un réseau secondaire de tubes. Quoique cette installation soit parfois plus coûteuse, elle est préférable, surtout pour les grandes usines, du fait de ses avantages :

a) La puissance nécessaire pour l'aspiration est inférieure, puisque les sous-stations se trouvent à proximité des machines. Le transport des copeaux des sous-stations au silo central exige moins de puissance et des tubes de petit diamètre, car on peut adopter des rapports « poids des copeaux/volume d'air » relativement élevés;

b) Pour la même raison, l'extraction des différentes machines peut être plus uniforme;

c) Les risques de panne sont plus limités : l'arrêt d'une sous-station ne paralyse pas le travail des machines des autres sous-stations. En outre, si les divers postes sont équipés d'une trémie suffisante, le travail n'est pas interrompu en cas d'arrêt temporaire du silo central;

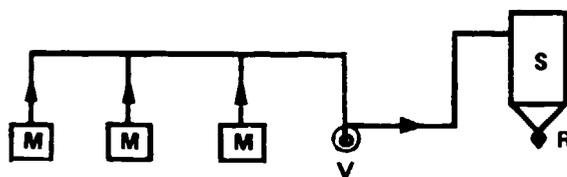
d) L'usine peut être équipée ultérieurement de nouvelles sous-stations sans qu'il faille modifier celles qui existent déjà et le silo central. Il est également plus facile d'apporter des modifications au réseau existant;

e) Un incendie (danger qui existe toujours dans une telle usine) peut être limité aux sous-stations et ce n'est que rarement qu'il atteint le silo central, surtout si les trémies des sous-stations sont à vidage périodique, commandé par un opérateur qui peut immédiatement déceler la présence de fumée. En outre, même si les règles de sécurité ne l'imposent pas, il est préférable de placer les sous-stations à l'extérieur des bâtiments et de mettre des dispositifs coupe-feu sur les tubes.

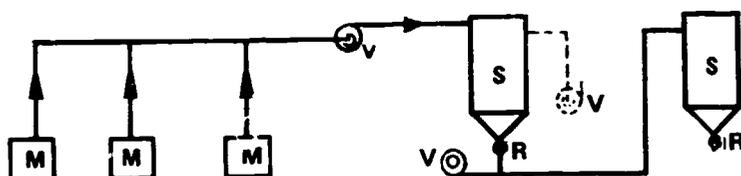
Installation mixte

Dans certaines usines, on peut avoir un groupe important de machines concentré dans une même zone et un autre groupe dans une zone plus éloignée du silo central. En pareil cas, le groupe principal peut être desservi par une installation centralisée et l'autre groupe par une sous-station (voir la figure 6D). Ce système « mixte » est souvent adopté dans les fabriques de meubles, où la sous-station dessert les machines à polir. Le système « mixte » est souvent la meilleure solution lorsqu'il est nécessaire d'agrandir une installation centralisée.

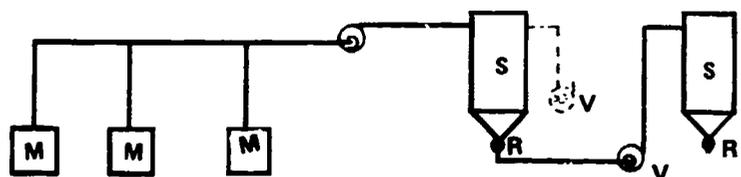
Figure 6. Types d'installations



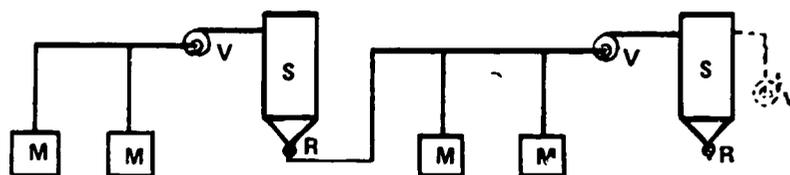
A. Installation centralisée



B. Installation à sous-stations



C. Sous-station avec V après R



D. Installation mixte

Légende : M Machine
 S Silo ou sous-station
 V Ventilateur
 R Valve rotative

Eléments d'une installation d'évacuation

Une installation comprend un réseau de tubes, des ventilateurs, des sous-stations (éventuellement) et des silos.

Hottes d'évacuation

Normalement, les machines sont vendues équipées d'une hotte d'aspiration; malheureusement, celle-ci n'est pas toujours bien conçue et adaptée aux conditions de travail; par conséquent, elle doit être parfois modifiée. Entre la hotte et le tube d'évacuation, il faut installer une vanne de contrôle. La hotte peut être reliée au réseau par des tubes rigides si les points de captation sont fixes, et par des tubes flexibles s'ils sont mobiles. Les tubes flexibles sont sujets à une détérioration rapide aux courbes, qui sont donc à éviter ou à construire en tôle métallique.

Tubes

Le réseau de tubes sera en acier pour les installations à moyenne ou haute pression et en tôle pour celles à basse pression. Dans ce cas l'épaisseur sera :

$$E = 0,5 + \frac{D}{1\ 000} \text{ mm}$$

Les dimensions seront calculées assez largement pour permettre d'ajouter d'autres machines à desservir et pour éviter une trop grande vitesse de l'air, qui implique un gaspillage de puissance électrique. Il est toutefois recommandé que la vitesse de l'air ne soit pas inférieure à 25 m/s, de façon à éviter les dépôts de copeaux le long des tubes qui pourraient provoquer des obstructions.

Ventilateurs

Les ventilateurs centrifuges sont utilisés sur les réseaux à basse pression (maximum 0,6 atm) et quand le courant traverse la soufflante, à cause de leur coût relativement réduit, de leur insensibilité aux poussières et d'un rendement assez bon. Dans les installations à moyenne ou haute pression, on utilise des compresseurs rotatifs permettant d'obtenir des pressions de 4 atm. Les ventilateurs doivent être très solides et, si le matériau les traverse, la couronne mobile doit être formée de façon à aider le passage. Normalement, le ventilateur est accouplé au moteur par un système de poulie et courroie, ce qui permet, en plus d'un démarrage moins brusque, de varier débit et hauteur d'élévation en faisant varier la vitesse de la couronne.

Il convient d'installer des ventilateurs à faible vitesse (1 300 à 1 400 tr/mn) pour avoir la possibilité d'en augmenter le rendement dans le cas d'expansion de l'usine.

Séparateurs

Au bout du transport, il faut installer des appareils pour séparer les copeaux et la sciure de l'air. Les plus courants sont les cyclones et les filtres.

Cyclones

Les cyclones sont des appareils à corps conique ou cylindro-conique où le courant à épurer entre tangentiellement. La force centrifuge ralentit les particules transportées, qui tombent dans le bas du cyclone, tandis que l'air sort par le haut. Plus le diamètre du cyclone est petit, plus son efficacité est grande; la force centrifuge est inversement proportionnelle au demi-diamètre du cyclone :

$$F_c = \frac{Gv^2}{gr}$$

- F_c = force centrifuge
- g = accélération de la pesanteur
- G = poids des particules
- v = vitesse
- r = demi-diamètre du cyclone

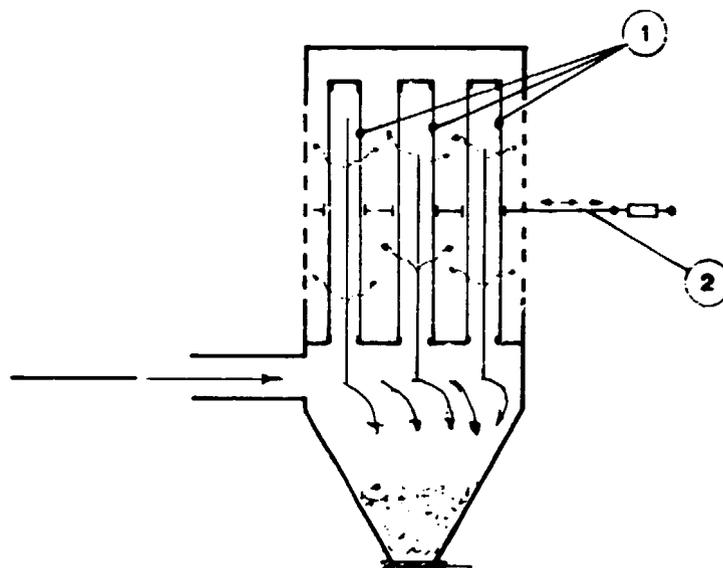
Pour obtenir une séparation plus poussée, il faut installer plusieurs cyclones en parallèle ou des multicyclones.

Filtres

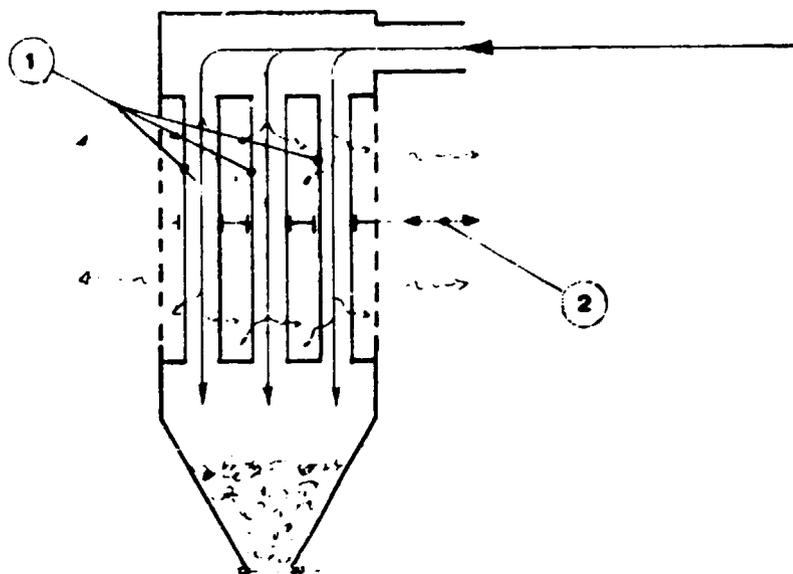
Pour avoir un plus haut degré de séparation, le courant doit traverser un filtre qui ne laisse pas passer la sciure. Normalement, un filtre se compose d'un ensemble de manchons d'étoffe (coton, nylon, etc.) contenus dans un boîtier. Le courant pénétrant dans le boîtier traverse les manchons et y dépose la sciure. Un dispositif mécanique secoue périodiquement les manchons pour faire tomber la sciure au fond du boîtier (figures 7A et 7B). Plus efficaces sont les dispositifs illustrés par les figures 8A et 8B. Le premier est équipé d'une série de buses d'injection d'air comprimé dans les manchons; l'air détache

la sciure déposée sur la surface extérieure. Dans le second, des vannes commandées automatiquement font insérer le courant d'air traversant les manchons. Ces dispositifs permettent de maintenir le rendement des filtres presque constant.

Figure 7. Filtres à manchons vibrants



A. Entrée par le bas



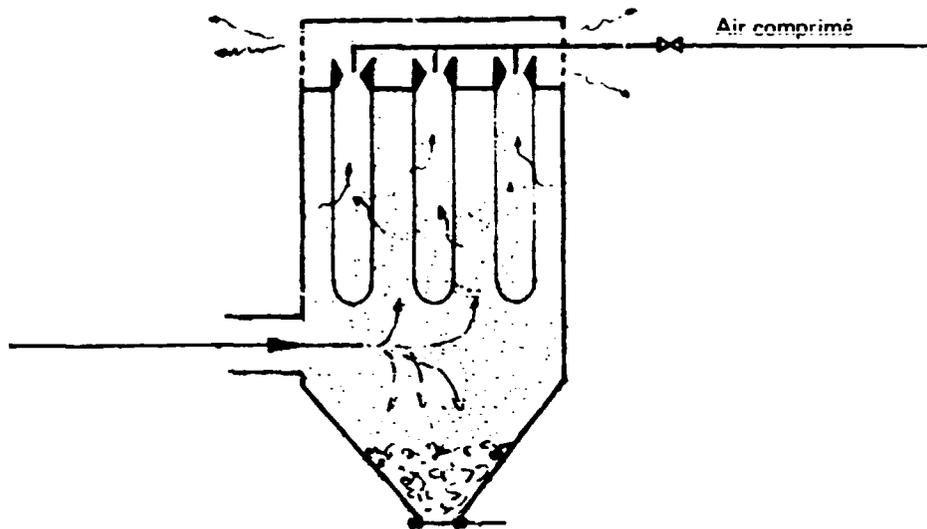
B. Entrée par le haut

Légende : 1 Manchons filtrants
2 Cadre vibrant

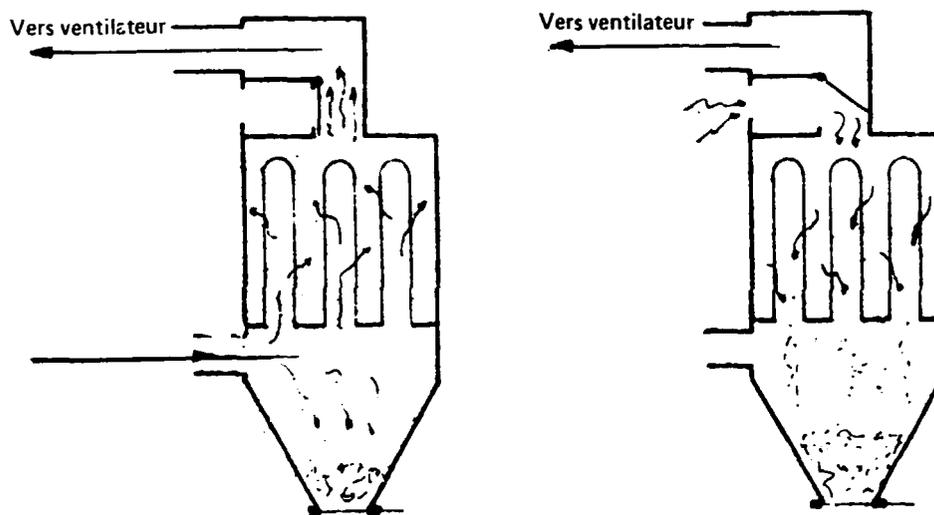
Sous-stations

Les sous-stations sont constituées par une structure métallique contenant une série de filtres à manchons, au bas de laquelle est fixée une trémie d'accumulation avec dispositif d'extraction. Les filtres

Figure 8. Filtres à ventilation forcée



A. Filtre à injection d'air comprimé



B. Filtre à inversion du flux d'air

doivent être munis d'un dispositif (de préférence pneumatique) pour le nettoyage périodique. Les copeaux sont extraits de la trémie par des vis sans fin, ou par palettes raciantes. Après l'extracteur, il faut installer une vanne rotative permettant de doser la décharge et de maintenir séparés le circuit pneumatique de transport et le circuit de la zone des filtres.

Silos

Le silo peut être réalisé en maçonnerie, en béton armé ou en tôle. Le coût inférieur et la plus grande facilité de montage font souvent choisir la seconde solution. La section de base du silo peut être carrée, circulaire ou polygonale. Actuellement, les silos métalliques sont construits avec une base polygonale (8, 12, 16 côtés), ce qui permet d'utiliser des panneaux plats, faciles à préfabriquer et adaptables, avec de légères modifications, à différents diamètres. Les bases carrées sont déconseillées du fait que le dispositif d'extraction des copeaux ne peut pas éliminer les matériaux déposés dans les angles. La partie

supérieure du silo abrite les filtres et les dispositifs de nettoyage périodique. La zone située au-dessous est destinée à l'emmagasinement des copeaux et de la sciure; sa hauteur ne doit pas être supérieure à deux fois le diamètre du silo, car le matériau aurait tendance à former des « ponts ». A la base du silo se trouve l'extracteur des copeaux; il existe actuellement plusieurs types d'extracteurs dont le fonctionnement est satisfaisant; quelques-uns sont illustrés dans la figure 9; ils sont tous très fiables. Il est essentiel que les parties mécaniques travaillant au milieu des copeaux soient très robustes; en effet, si elles tombent en panne, il faut extraire les copeaux à la main, opération qui n'est jamais facile, surtout dans les silos de grande capacité. L'extracteur du type à cône raclant pallie cet inconvénient en ayant ses parties mécaniques en dehors de la zone des copeaux. Le silo est complété par divers accessoires :

- Echelle d'accès à la chambre des filtres
- Regards d'inspection du niveau des copeaux
- Portes de décharge manuelle, à la base
- Portillons antiexplosion à ouverture rapide
- Extincteur automatique d'incendie.

L'extincteur d'incendie peut être commandé par un détecteur placé dans le silo. Dans ce cas, il faut aménager à la base du silo des portillons à ouverture automatique pour permettre à l'eau de s'écouler, faute de quoi la poussée hydrostatique deviendrait excessive.

Air comprimé

L'utilisation de l'air comprimé a permis de fortement accroître la productivité dans de nombreux établissements de travail du bois. Il faut donc examiner selon des critères de coût et de rendement le choix des compresseurs et les dimensions du réseau de distribution d'air comprimé.

Types de compresseurs

Les compresseurs d'air se divisent en deux catégories : les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs. Dans les compresseurs volumétriques, l'air est aspiré dans une chambre, puis comprimé par diminution du volume de cette chambre. Dans les turbocompresseurs, l'air est aspiré par une roue mobile et porté à une vitesse élevée, qui se transforme en augmentation de pression dans la roue et dans le diffuseur de sortie.

Les compresseurs volumétriques sont les plus utilisés dans l'industrie du bois. Le choix porte ainsi sur les compresseurs alternatifs à pistons, rotatifs à vis ou rotatifs à palettes.

Dans les compresseurs à pistons, la compression a lieu dans un ou plusieurs cylindres où les pistons font varier le volume de la chambre de compression. Ces machines, particulièrement robustes et faciles à entretenir, sont les plus indiquées pour un service dur et continu.

Les compresseurs à vis sont composés de deux rotors qui tournent en sens contraire dans une chambre. L'air aspiré à travers une ouverture de la chambre est comprimé entre les rotors et refoulé à l'autre bout de la chambre. Comme il n'y a aucun contact entre les deux rotors, ni entre ces derniers et la chambre, toute lubrification est inutile. Ces machines sont donc particulièrement indiquées lorsqu'on a besoin d'air comprimé ne contenant aucune trace d'huile.

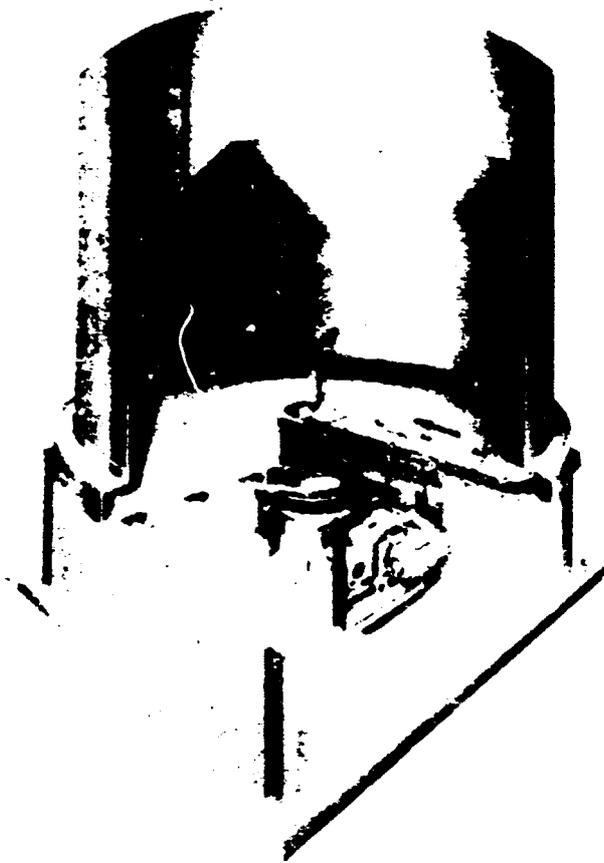
Les compresseurs à palettes sont constitués par un cylindre dans lequel tourne, autour d'un axe excentré, un tambour à palettes radiales. Le volume entre les palettes diminue progressivement entre l'ouverture d'aspiration et celle de refoulement, d'où compression de l'air. Ces compresseurs présentent l'avantage d'être exempts de vibrations et, par conséquent, de ne pas avoir besoin d'un socle; ils s'adaptent facilement aux variations dans la demande d'air comprimé; en revanche, leur consommation d'huile est élevée et leur entretien doit être régulier et soigneux.

Tous ces compresseurs peuvent être refroidis à l'air ou à l'eau. Le choix à cet égard sera fonction de l'alimentation en eau et de la possibilité de récupération et de réutilisation de l'eau de refroidissement.

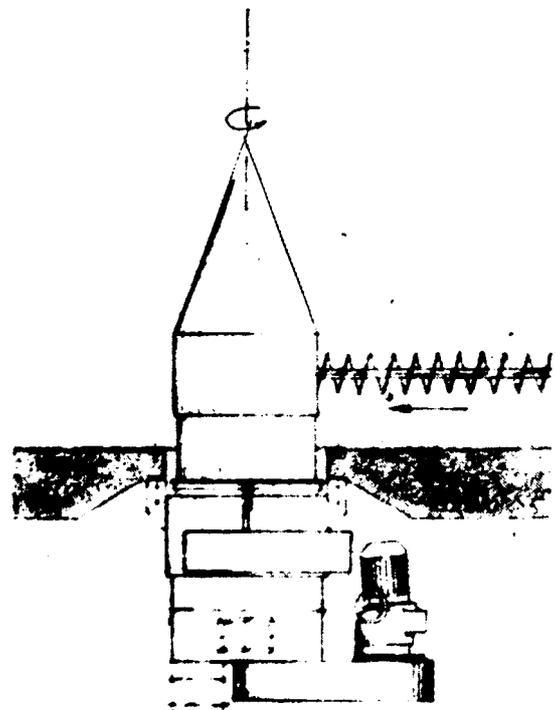
Dans le choix des compresseurs, il faut tenir compte, non seulement de leurs caractéristiques de construction, mais également de leur consommation d'énergie électrique, qui doit être aussi faible que possible.

Les compresseurs doivent être groupés dans une seule centrale alimentant un réseau unique pour toute l'usine. Cet agencement présente les avantages suivants :

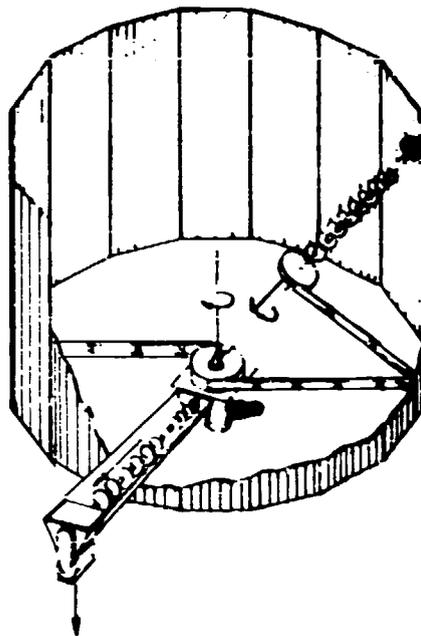
Figure 9. Extracteurs à chaîne et à vis sans fin



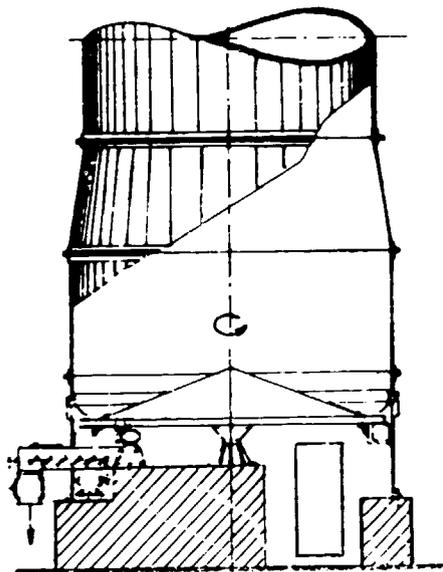
A. Extracteur à chaîne



B. Extracteur à vis sans fin



C. Extracteur à ressorts à lamelles



D. Extracteur à cône raclant

- a) Rendement plus élevé du fait que l'on peut installer des unités plus puissantes;
- b) Besoin d'un nombre moindre de compresseurs de réserve;
- c) Surveillance et entretien plus faciles;
- d) Possibilité de situer la centrale à l'endroit qui convient le mieux.

La centrale de compression doit être située de manière à minimiser les coûts afférents aux lignes électriques, à l'eau de refroidissement et aux décharges. Normalement, il faut l'installer à proximité des autres services (chaudières, poste de transformation, évacuation des copeaux, etc.), afin de simplifier la surveillance et l'entretien. Le filtrage de l'air et la réduction du niveau sonore et des vibrations doivent être particulièrement bien conçus. Il faut également prévoir des refroidisseurs et des réservoirs de stockage de l'air comprimé. Au cours des dernières années, l'emploi d'une installation frigorifique

pour le refroidissement très poussé de l'air comprimé, provoquant la condensation de l'eau qui y est contenue, s'est de plus en plus répandu; de cette façon, on élimine complètement la condensation dans le réseau de distribution.

Distribution de l'air comprimé

Pour assurer le maximum d'efficacité, de sécurité et d'économie de fonctionnement, le réseau de distribution doit garantir :

- a) Une faible chute de pression entre la production et l'utilisation de l'air comprimé;
- b) Une élimination efficace des condensations;
- c) La possibilité d'effectuer rapidement des modifications pour expansion.

La possibilité de contenir la chute de pression dans des limites acceptables (normalement 0,3 kgf/cm²) découle d'un juste dimensionnement des tuyauteries, compte tenu des accroissements futurs de consommation d'air comprimé.

Lorsqu'elle n'est pas complètement éliminée à la centrale, la condensation doit être éliminée des tuyauteries par des drainages. Les dérivations vers les appareils doivent être raccordées aux tubes principaux dans leur partie supérieure et être munies d'un barillet de recueil de la condensation, avec drainage. Pour assurer la plus grande souplesse et en même temps faciliter le contrôle des pertes d'air, il est opportun que les tuyauteries se trouvent bien en vue à l'intérieur de l'usine. D'autres précautions à adopter sont le sectionnement des lignes avec des valves et l'emploi de raccords filetés pour les dérivations sur le réseau principal.

Production et distribution de chaleur

Chaudières

Dernièrement, la production de chaleur a fait l'objet de grands perfectionnements. On a cherché, d'une part, à améliorer les conditions de travail et, d'autre part, à accélérer des procédés et des traitements qui, à la température ordinaire, auraient une durée incompatible avec les exigences modernes de productivité. Etant donné l'importance des chaudières, on ne doit prendre de décision à leur égard qu'après un examen attentif des quantités nécessaires de chaleur et des types de combustibles dont on dispose.

Le nombre de chaudières à installer est très variable. Dans les petites usines, une seule chaudière peut être suffisante pour les besoins techniques et le chauffage, en la faisant fonctionner à faible régime pendant l'été et à plein régime pendant l'hiver. Pour les grandes usines, l'installation de deux ou plusieurs chaudières est conseillée, ne serait-ce que pour assurer une réserve.

Le choix des chaudières repose sur les considérations suivantes :

- a) Matériau de construction : fonte ou acier;
- b) Alimentation : à combustible liquide, gazeux ou solide, ou à plusieurs combustibles;
- c) Combustion : en dépression ou sous pression;
- d) Fluide : eau ou huiles diathermiques;
- e) Température de service : au-dessous ou au-dessus de 100 °C;
- f) Conception : tubes de fumée ou tubes d'eau.

Dans l'industrie du bois, on adopte normalement les solutions suivantes :

- a) Les chaudières sont en acier.
- b) Elles peuvent être alimentées au mazout, au gaz ou au bois, sous forme de copeaux ou de sciure. L'alimentation au bois peut être manuelle (copeaux ou déchets), mécanique au moyen d'un convoyeur, ou pneumatique (sciure et petits copeaux) au moyen d'un ventilateur et d'un tube de raccord entre l'extracteur du silo et la chaudière. Le bois peut être mis directement dans la chaudière ou bien dans un avant-four en réfractaire raccordé à la chaudière; la seconde solution, quoique plus coûteuse et demandant plus d'entretien, est conseillée parce qu'elle permet une meilleure combustion, même de matériaux humides, ainsi qu'une alimentation manuelle plus facile en morceaux de bois ou en déchets à incinérer.

c) Les chaudières à bois ou mixtes fonctionnent en dépression et en tirage forcé : la chambre de combustion et les parcours secondaires de la fumée sont en dépression et les fumées sont aspirées par un ventilateur interposé entre la chaudière et la cheminée. Les chaudières à mazout ou à gaz — souvent installées en parallèle avec les mixtes lorsque les déchets de bois disponibles sont insuffisants — peuvent fonctionner en dépression ou sous pression; dans le second cas, on maintient une légère surpression entre le gaz de combustion et l'atmosphère extérieure. Ces chaudières ont un meilleur rendement et sont plus compactes du fait d'une plus forte production de calories pour une même surface d'échange.

d), e) L'emploi de vapeur ou d'eau surchauffée (figure 10) est limité aux températures relativement peu élevées, à cause des fortes pressions en jeu (à une température de 200 °C correspond une pression de 20 kgf/cm²). L'emploi d'huiles diathermiques permet d'atteindre des températures élevées à la pression atmosphérique ou aux basses pressions. C'est pourquoi, dans l'industrie du bois où il est nécessaire d'avoir des températures élevées (par exemple pour le séchage les contre-plaqués), l'emploi de chaudières à huiles diathermiques se répand de plus en plus. En revanche, si l'on n'a besoin que de basses températures (par exemple pour le chauffage ou le séchage des vernis) et si le parcours de la chaleur est limité, il convient d'installer des chaudières à eau chaude à moins de 100 °C, car elles sont plus économiques et leur installation et leur fonctionnement sont plus simples.

Dans les grandes usines et quand les opérations exigent des températures élevées (presses pour panneaux ou contre-plaqués, etc.), les fluides utilisés sont la vapeur et l'eau surchauffée, avec une certaine préférence pour cette dernière du fait de ses avantages : élimination d'accessoires coûteux et délicats comme purgeurs à vapeur, filtres et réservoirs de récupération des condensés; moins grande corrosion dans les tuyauteries; rendement plus élevé (dans le réservoir de récupération des condensés, il y a toujours perte de vapeur dans l'atmosphère); épurateur de l'eau d'alimentation plus simple et plus petit; meilleur « volant thermique » par suite de la plus grande quantité de chaleur emmagasinée dans les tuyauteries.

f) Les chaudières à tubes de fumée sont conçues pour permettre le passage des produits de la combustion à l'intérieur des tubes, alors que l'eau se trouve dans l'enveloppe qui entoure les tubes eux-mêmes. La quantité considérable d'eau qu'elles contiennent permet une adaptation rapide aux variations de charge. Par contre, la pression de service de ces chaudières ne dépasse pas 15 kg/cm². Dans les chaudières à tubes d'eau (figure 11), l'eau circule à l'intérieur des tubes et les produits de la combustion circulent à l'extérieur. Ces chaudières ont un rendement supérieur, elles peuvent avoir des pressions de service élevées et sont plus faciles à réparer en remplaçant les tubes défectueux. Par suite de leur conformation, elles peuvent avoir un avant-four plus rationnel et sont par conséquent préférables dans les cas où les déchets de bois sont abondants et où il est nécessaire d'avoir de la chaleur à haute température, par exemple dans les usines de contre-plaqués.

Distribution et utilisation de la chaleur

Dans toute la mesure du possible, le réseau de chauffage doit être distinct du réseau des utilisations techniques, aussi bien à cause de la différence des températures requises que des variations de charge. La chaleur pour le chauffage peut être fournie de diverses manières :

- a) Par radiateurs et convecteurs; c'est la meilleure solution pour les bureaux et les locaux de service;
- b) Par panneaux radiants, pour le chauffage de zones limitées dans un bâtiment non chauffé;
- c) Par aérothermes, appareils particulièrement souples et économiques;
- d) Par convecteurs-ventilateurs, appareils typiques de la climatisation.

Les utilisations techniques de la chaleur sont très variées et demandent souvent des températures particulières. Il est donc impossible d'examiner ici tous les cas qui peuvent se présenter et de suggérer les meilleures solutions à adopter. Un facteur important doit toutefois être noté : la souplesse du réseau de distribution du fluide. Toutes les tuyauteries doivent être facilement accessibles pour l'entretien et la modification éventuelle de l'installation. Dans les limites du possible, elles doivent donc être bien en vue sur des supports, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'usine. Lorsqu'ils sont indispensables, les boyaux doivent être faciles à inspecter.

Figure 10. Chaudière à vapeur ou eau surchauffée

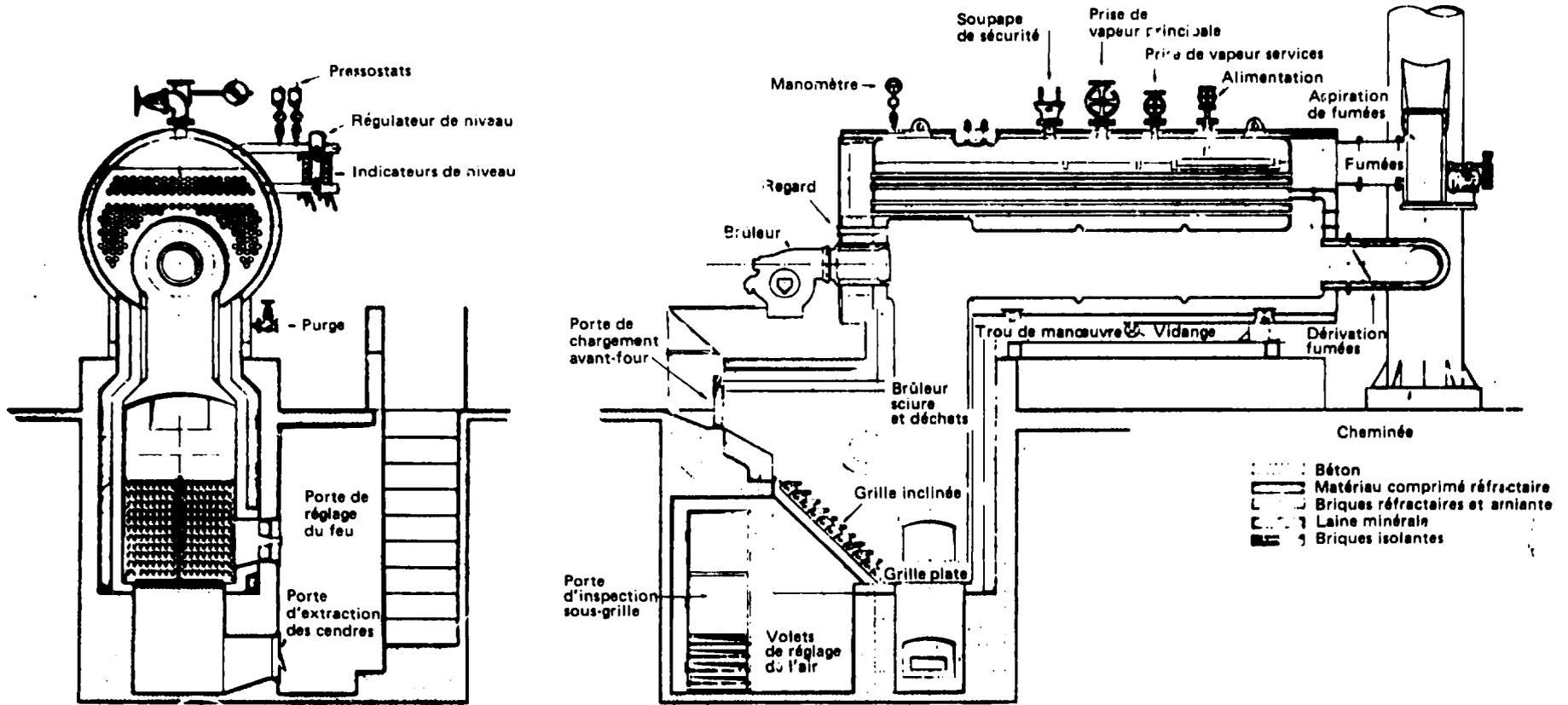
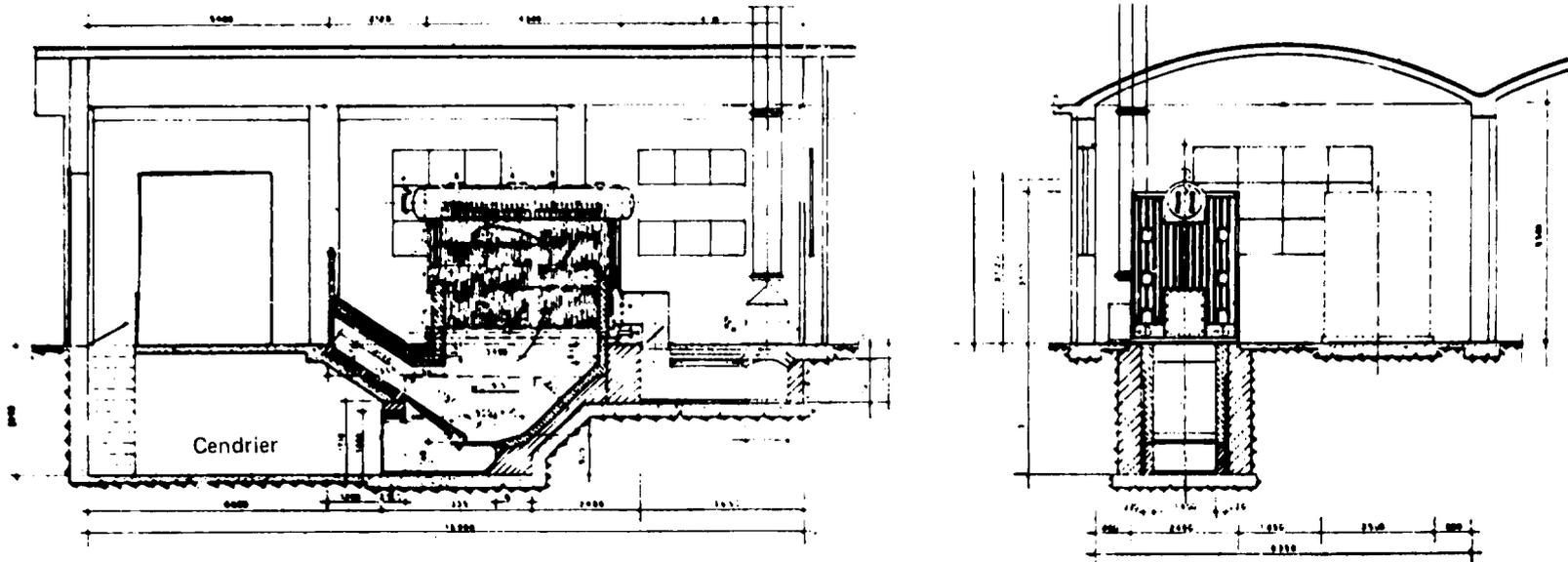
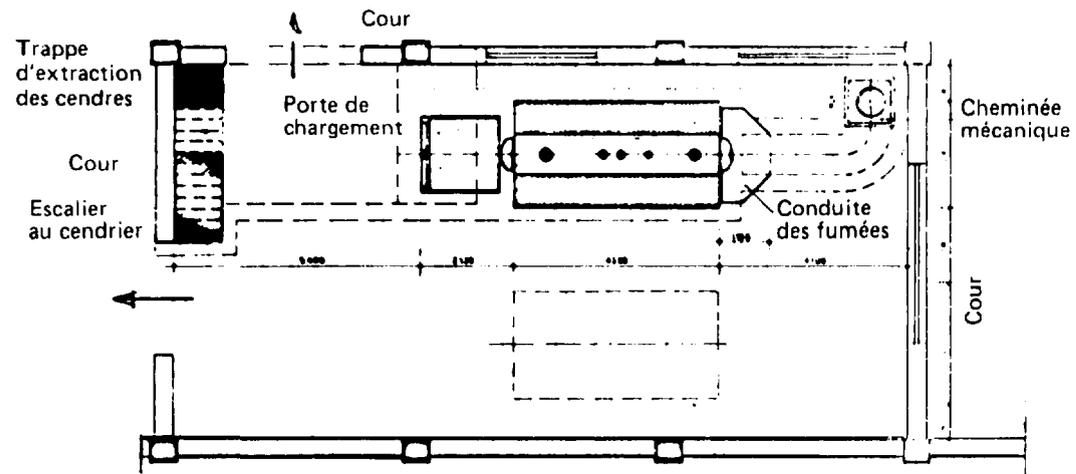


Figure 11. Chaudière à tubes d'eau



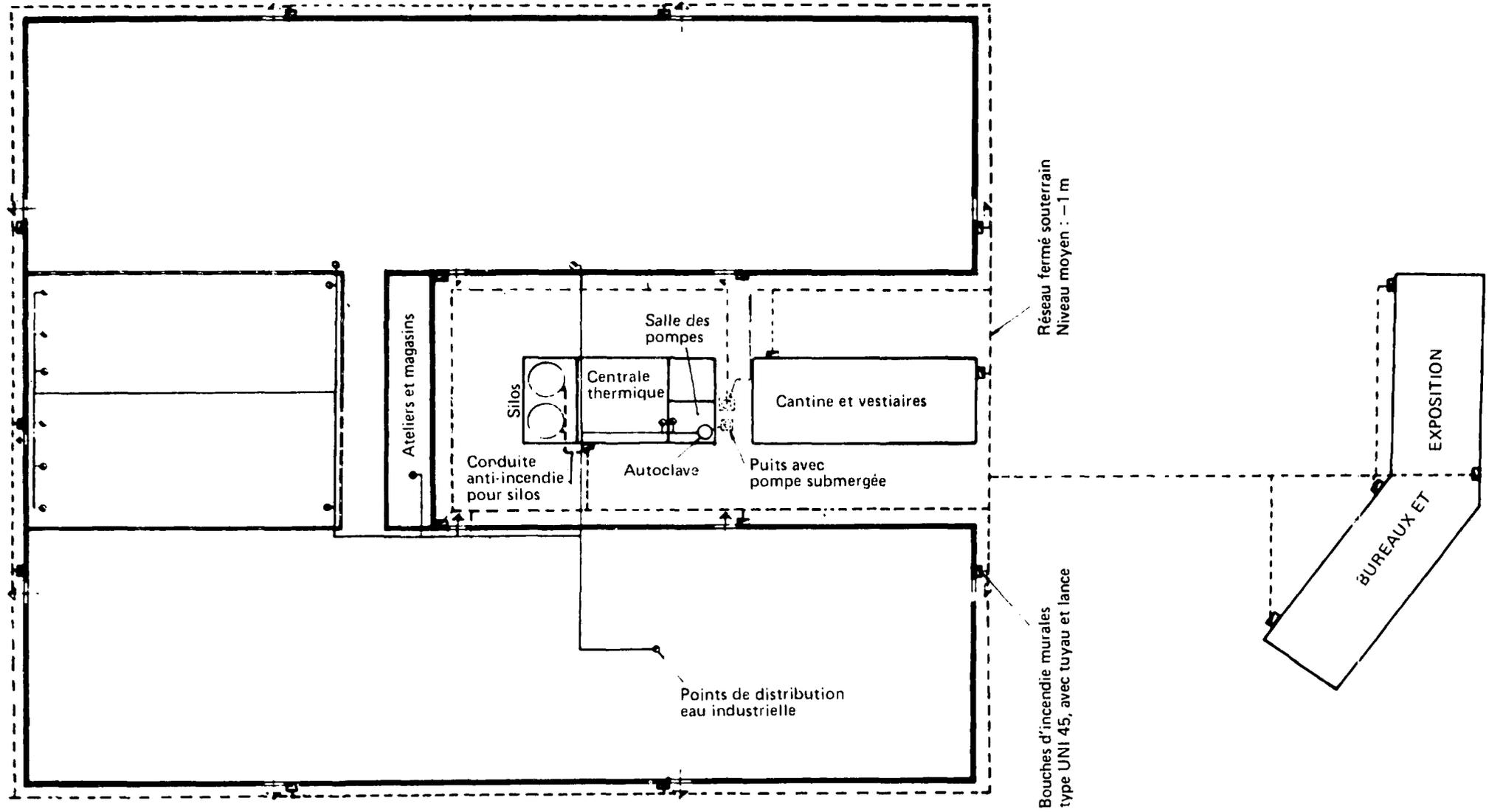
A. Section transversale

B. Vue de face



C. Plan

Figure 12. Système d'adduction d'eau



Epuration des fumées

Il est toujours souhaitable, et souvent même obligatoire, d'installer des épurateurs de fumée pour retenir les particules de suie et les imbrûlés en suspension dans les fumées. Les appareils normalement employés sont :

- a) Des épurateurs à sec;
- b) Des épurateurs à eau.

Parmi les épurateurs à sec, les plus courants sont les cyclones, souvent groupés en multicyclones, qui assurent un bon rendement et ne présentent que des inconvénients mineurs. Les épurateurs à eau sont constitués par une cuve, traversée par les fumées, munie de buses pour la pulvérisation d'eau. Les boues de suie sont recueillies dans le fond de la cuve. Quoique plus efficaces que les épurateurs à sec, ces appareils ont des inconvénients : ils exigent des matériaux anticorrosion; ils refroidissent les fumées; ils transforment la suie en boues difficiles à manipuler.

Alimentation et distribution d'eau

L'alimentation en eau est l'un des facteurs à prendre en considération pour choisir le site d'une usine. L'eau peut être fournie par un concessionnaire, ou bien elle doit être prélevée directement d'un cours d'eau ou pompée d'une nappe souterraine. Dans les grandes usines et lorsque l'alimentation en eau n'est pas assurée en permanence, il faut installer des réservoirs de stockage, raccordés à un système d'autoclaves.

L'eau peut être utilisée à trois fins : pour le personnel, pour les services techniques, pour la lutte contre l'incendie.

Alors que les canalisations d'eau pour le personnel et le travail peuvent être confondues (si l'eau fournie est potable), les canalisations d'eau contre l'incendie doivent toujours être distinctes des autres à partir du point d'approvisionnement. Le dernier réseau doit toujours être en parfait état de marche; pour cela, il doit être enterré et former une boucle autour des bâtiments (figure 12). Sur cette boucle, on branche les bornes d'incendie et les extincteurs automatiques pour la protection de zones particulières comme les silos, les magasins de matériaux particulièrement inflammables, etc. On installe souvent dans l'usine des réservoirs souterrains pour recueillir les eaux de pluie qui servent de réserve pour la lutte contre l'incendie. L'eau de ces réservoirs est pompée par des motopompes à moteur électrique ou thermique.

La quantité d'eau nécessaire pour le personnel et le travail dépend essentiellement des effectifs de l'usine, de la nature des opérations et de la consommation des chaudières, compresseurs, etc.

Vu les difficultés toujours croissantes d'approvisionnement en eau, on tend à recycler l'eau industrielle. Lorsque cette eau subit un simple processus de chauffage, comme c'est le cas dans la plupart des fabriques de meubles, il est facile de la récupérer en installant des tours de refroidissement. Par contre, si elle collecte des substances polluantes au cours des opérations, elle doit être convenablement épurée. Les procédés d'épuration dépendent de la quantité et de la nature des substances polluantes; ils exigent souvent des investissements considérables, même pour des quantités relativement faibles d'eau à épurer. Dans les fabriques de meubles, il faut épurer notamment l'eau des cabines de vernissage au pistolet; cette épuration s'effectue en deux stades : au moyen d'injecteurs spéciaux, on provoque l'épaississement et la précipitation dans une cuve des pigments de peinture et des particules solides; ensuite, on fait absorber les solvants résiduels par des charbons activés.

VII. Choix du matériel pour le travail en forêt*

L'exploitation forestière comprend une suite d'opérations allant du choix des arbres à abattre dans la forêt au chargement des grumes sur le moyen de transport qui les acheminera vers le lieu d'utilisation¹. En d'autres termes, l'exploitation forestière consiste à extraire une matière brute de la forêt. Ces opérations requièrent l'emploi d'une main-d'œuvre souvent rustre, acceptant de vivre dans des conditions précaires dans des régions souvent inhospitalières, au milieu de massifs boisés. Néanmoins, l'exploitation forestière devient de plus en plus sophistiquée, par suite de la pression continue des autorités gouvernementales compétentes pour un meilleur contrôle et une meilleure gestion des ressources forestières partout dans le monde. Par exemple, les exploitants forestiers sont maintenant tenus de tracer et de construire leurs propres chemins et routes de sorte que, en fin de compte, ils puissent être raccordés au réseau routier national, ou même en faire partie.

Il y a encore quelques années, le métier de bûcheron était considéré comme difficile, dangereux et mal payé; depuis quelque temps, une évolution incessante vers la mécanisation intégrale des opérations forestières fait qu'il y a peu à peu une mutation vers l'emploi d'une main-d'œuvre de plus en plus spécialisée, jouissant d'un niveau de vie de plus en plus élevé. Cette considération est importante, parce que, alors qu'il était encore considéré comme un métier de paria il y a seulement quelques décennies, le métier d'exploitant forestier et d'ouvrier forestier devient de plus en plus attrayant pour les jeunes générations.

Exploitation forestière

Phases de l'exploitation forestière

On appelle phase toute opération qui consiste à effectuer un travail sans changement d'outils. Par exemple, l'abattage d'un arbre constitue la première phase; il se fait actuellement avec une scie à moteur (figure 1). Quand l'arbre est abattu, l'ébranchage constitue la deuxième phase; cette opération est faite au moyen d'un outil manuel ou d'une scie à moteur plus légère que la précédente. Le tronçonnage du bois est la troisième phase; le débardage est la quatrième. La mise en stère et le tronçonnage des grumes pour effectuer cette opération constituent une phase auxiliaire. Après le débardage, les bois sont stockés en bordure de route; c'est une phase nulle, qui représente la fin des opérations en forêt. Par contre, le chargement des billes sur les camions est considéré comme une nouvelle phase; le transport en est une autre. Le déchargement au point d'arrivée est normalement la phase finale, à moins qu'il n'y ait encore une reprise de transport par un autre moyen, tel que le chemin de fer ou la péniche.

Analyse opérationnelle des temps

Les différentes phases, telles qu'elles viennent d'être décrites ci-dessus, ont fait l'objet d'études systématiques de leurs temps respectifs par de nombreux instituts spécialisés. Sans entrer dans le détail

* Par X. De Megille, expert en matériel pour le travail en forêt. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/6/Rev.1.)

¹ Pour plus de détails sur l'exploitation forestière, voir le chapitre VIII.

de ces études, on peut noter que l'opération d'abattage ne représente généralement qu'un faible pourcentage du temps total de travail en forêt, alors que le fait de brûler des ramies et des petites branches peut représenter jusqu'à 15 % de ce temps total. Un coefficient de coût est utilisé dans cette analyse fine. Ce coefficient est fonction du matériel utilisé pendant chaque phase. Par exemple, l'abattage d'un arbre avec une scie à moteur coûte le salaire de l'ouvrier qui effectue le travail, additionné de l'amortissement raisonnable de la machine et de son coût horaire d'utilisation, c'est-à-dire sa consommation horaire en carburant, en huile et la quote-part des frais de maintenance imputables à chaque heure de service.

Figure 1. Abattage d'un arbre à la tronçonneuse



Pour l'opération de débardage, le coût de l'heure de travail est évidemment beaucoup plus élevé : outre le salaire du conducteur et éventuellement de son assistant, il faut tenir compte de l'amortissement de l'engin de débardage et de son coût de fonctionnement; les coûts afférents à l'engin peuvent être de 10 à 20 fois supérieurs au salaire du conducteur.

En considérant chacune des phases, en multipliant le temps passé pour chaque opération par le coût horaire de chaque processus technologique utilisé, on arrive à déterminer le coût total de l'opération, depuis la forêt jusqu'à l'usine. La comparaison des différentes phases peut se faire par programmation linéaire ou, mieux, par ordinateur.

Les résultats d'une telle analyse permettent au planificateur de déterminer la meilleure méthode à appliquer pour exploiter la forêt considérée. Mais, outre ces calculs théoriques, il faut tenir compte des contraintes techniques inhérentes à l'exploitation forestière.

Contraintes

Les contraintes sont techniques et psychologiques. Les contraintes techniques sont les conditions physiques, les conditions sylvicoles et les conditions économiques.

Relief de la région

Dans les régions de montagne, la pente du terrain est le facteur déterminant pour le choix du matériel à utiliser. Au-dessus d'une pente de l'ordre de 20 à 25 %, il n'est pas raisonnable d'utiliser des véhicules autopropulseurs circulant sur le sol, quoique des tracteurs à chenilles bien conduits peuvent travailler sur des pentes allant jusqu'à 30 et même 35 %. Quand les pentes sont supérieures, il faut recourir à des systèmes par câbles, assistés depuis peu par des ballons ou des hélicoptères. Si l'on utilise des véhicules automoteurs, leur choix est déterminé par leur stabilité sur la pente considérée,

c'est-à-dire en fonction de leur centre de gravité. Un autre critère déterminant pour le choix du véhicule sera la puissance requise pour lui faire remonter la pente. En effet, en région accidentée, il est indispensable que l'engin vide puisse remonter les pentes dans les meilleures conditions de vitesse et d'adhérence. On cherche naturellement à utiliser la pesanteur pour débarder les charges de l'exploitation forestière; de ce fait, on cherche le plus souvent possible à organiser les chantiers de telle sorte que les engins aillent dans le sens de la pente, plutôt que de la remonter. Cependant, il convient de noter que, dans le cas d'utilisation de téléphériques ou de grues à câbles (figure 2), il est plus aisé de travailler en remontant la charge, plutôt que de chercher à la descendre; en effet, dans le cas d'une traction vers le haut, les billes ont tendance à se soulever du sol, alors qu'en sens inverse elles risquent de glisser et de s'enfoncer dans le sol. Il convient également de penser qu'en altitude les moteurs à explosion ont un rendement inférieur, à cause de la raréfaction de l'oxygène dans l'air. Cette perte de puissance, qui se situe de 10 à 15 %, autour de 800 à 1 500 m, atteint 30 % lorsque les engins travaillent à 3 000 m au-dessus du niveau de la mer.

Figure 2. Grue à câble



En terrain relativement plat, lorsque les problèmes de pente ne sont plus prépondérants, c'est l'état du sol qui devient l'élément déterminant pour le choix des véhicules de transport. Dans les terrains secs, les problèmes d'adhérence ne sont guère importants; en revanche, dès que l'on a affaire à des terrains marécageux ou restant humides une grande partie de l'année, les problèmes d'adhérence sont tellement importants que, dans certains cas, les techniciens préfèrent utiliser des câbles de traction au niveau du sol, plutôt que des véhicules qui devraient être pratiquement amphibies. Pour la même raison, dans des régions telles que le sud des Etats-Unis ou dans des régions tropicales, la voie ferrée a longtemps été le mode le plus rationnel de pénétration de la forêt.

Enfin, il convient de signaler le cas particulier des plantations artificielles, qui requièrent un matériel spécialement adapté à cette exploitation planifiée.

Climat

Le climat est une condition physique importante. Le premier critère est la variation des températures. Comme pour l'altitude, il convient de rappeler que le rendement des moteurs à explosion est fonction de la température de l'air ambiant. Facteur souvent négligé, le climat a une influence très forte sur l'état du sol, qui est en relation directe avec les conditions climatiques instantanées. Dans les régions froides, telles que la Sibérie, les pays scandinaves ou le Nord canadien, la neige devient un auxiliaire pour l'exploitation forestière, car elle permet de faire des chemins de neige tassée et même gelée sur lesquels on peut tirer, soit directement, soit sur traîneau, des quantités de bois considérables, avec un coefficient de friction extrêmement faible. Sous les climats tempérés, cette possibilité est pratiquement nulle et l'action du climat intervient, d'une part, pour ralentir les travaux en période de pluie et, d'autre part, pour transformer un sol suffisamment porteur en un sol particulièrement peu propice au passage des véhicules et au débardage des bois. Une observation analogue peut être faite pour les pays tropicaux : la saison des pluies interdit, généralement pendant une longue période, la pénétration en forêt des engins mécaniques, et la totalité des transports doit être concentrée sur la saison sèche, pendant laquelle le pouvoir porteur du sol permet le passage des engins lourds. Enfin, il faut penser à l'action éventuelle du vent; dans certaines régions accidentées ou en bordure de mer, le vent peut devenir un élément prépondérant pour interdire ou ralentir l'exploitation forestière. Par conséquent, le planificateur du travail en forêt devra toujours tenir compte de l'effet du vent lorsqu'il orientera les coupes, notamment les coupes claires, afin d'éviter les lourdes pertes qui pourraient être provoquées par une tempête imprévue.

Sol

Le sol forestier est généralement formé de la décomposition de feuilles ou aiguilles qui forment une couche d'humus plus ou moins épaisse, reposant directement sur la roche mère. Au contraire, le sol agricole a une couche superficielle contenant les racines des plantes cultivées, qui forment un excellent support pour les organes d'adhérence des engins de transport. En d'autres termes, le sol forestier masque au chauffeur des engins l'état réel du sol sous-jacent; si le chauffeur n'a pas une bonne connaissance et une certaine expérience de la circulation sur un tel sol, il peut tomber dans des fondrières qui lui étaient masquées. On définit les divers sols forestiers en fonction de la roche mère :

a) Les sols argileux sont particulièrement résistants lorsqu'ils sont secs, avec un pouvoir porteur très élevé, mais se transforment en une pâte glissante lorsqu'ils sont gorgés d'eau et leur pouvoir porteur diminue souvent dans des proportions considérables. Pour de tels sols, il est donc nécessaire d'organiser l'exploitation des forêts pendant la période sèche, tout en prévoyant des solutions artificielles pour travailler en période de pluie. L'artifice le plus classique en forêt est le treuil d'autohalage installé à l'avant du véhicule (figure 3);

b) Les sols humiques sont les plus typiquement forestiers; ils sont recouverts d'un humus plus ou moins décomposé, souvent mélangé à un lit de feuilles. C'est également ce genre de sol que l'on rencontre dans les terrains marécageux. Pour circuler sur de tels terrains, il faut utiliser des chenilles très larges, ayant une pression au sol de l'ordre de 100 g/cm²;

c) Les sols sablonneux, sur lesquels il est fréquent que l'on développe artificiellement des massifs forestiers, ont souvent un bon pouvoir porteur, mais ils ont une cohésion insuffisante et, lors du démarrage, les engins s'embourbent souvent en creusant le sol. En conséquence, il faut utiliser des pneus très larges, à très basse pression. Il n'est pas recommandé d'utiliser des engins à chenilles dans les sols sablonneux, car la silice est un abrasif puissant qui use rapidement les articulations des chenilles en acier;

d) Les sols rocheux, dont l'humus superficiel a disparu par lixiviation ou par passages trop nombreux, manquent d'élasticité. On peut y suppléer dans une certaine mesure en utilisant des pneus à pression relativement basse. En tout état de cause, il est recommandé que les engins qui circulent sur ces sols soient munis d'une lame niveleuse pour rétablir la régularité de la roche mère, qui a très souvent des formes irrégulières rendant son franchissement difficile pour des engins classiques.

Pour définir les caractéristiques techniques des divers sols, il faut tenir compte d'un certain nombre de paramètres :

a) Pouvoir porteur : on le mesure à l'aide d'un pénétromètre; c'est la résistance limite à partir de laquelle un sol se déforme lorsqu'on exerce sur lui une pression donnée. En général, les sols ont un pouvoir porteur qui varie de quelques centaines de grammes à plusieurs dizaines de kg/cm²;

b) Résistance au roulement : elle est définie comme étant la force, en kg, parallèle au sol nécessaire pour déplacer une tonne du véhicule considéré. Elle est exprimée par la relation : $R = K \times W$, dans laquelle R est la résistance au roulement exprimé en kg, K est le coefficient de résistance au roulement, exprimé en kg/t, et W est le poids du véhicule en tonnes. La résistance au roulement varie en fonction des types de sols et des systèmes de roues utilisés, selon qu'il s'agit de roues en fer, de roues munies de pneumatiques à haute ou basse pression ou de chenilles;

Figure 3. Tracteur avec treuil



c) Résistance au glissement : c'est la force horizontale nécessaire pour déplacer un corps reposant directement sur le sol. Comme pour la résistance au roulement, la force nécessaire est fonction du poids de la charge à déplacer; en outre, la résistance au glissement est fonction du sol et de la forme de l'objet à déplacer. En l'occurrence, il s'agit de grumes dont le diamètre joue un rôle important, ainsi que la façon dont la grume est traînée (suivant qu'elle traîne entièrement sur le sol ou que son extrémité avant est soulevée). La résistance au glissement varie de 450 à 700-800 kg/t de grumes déplacées;

d) Coefficient d'adhérence : il est exprimé en général par la relation $A = \frac{F}{W}$, où A est le coefficient d'adhérence, F est l'effort au crochet du tracteur, exprimé en kg, et W est le poids sur les éléments moteurs du tracteur, exprimé en tonnes. Ce coefficient détermine l'efficacité de traction de l'engin; il dépend de la nature et surtout de l'état d'humidité du sol. Pour des tracteurs munis de pneumatiques ou de chenilles, ce coefficient varie de 170 kg/t à 560 kg/t pour des tracteurs à chenilles sur humus noir sec, par exemple.

Conditions sylvicoles

Après avoir considéré les conditions physiques du sol, il convient de considérer la forêt qui a poussé sur ce sol et qui est le but même de l'exploitation forestière. Le premier facteur à prendre en compte est le diamètre et la hauteur des arbres, en d'autres termes le volume unitaire du produit à exploiter.

Le mode d'exploitation forestière est fonction du type de forêt : forêt vierge, forêt régulièrement exploitée ou forêt non aménagée. Dans le premier cas, il faudra créer des voies d'accès pour pénétrer le massif; dans le second cas, les voies d'accès existent, mais il faudra aller chercher les grumes à l'intérieur de peuplements parfois denses; dans le troisième cas, on se trouvera dans une situation intermédiaire entre les deux précédentes.

Conditions économiques

Dans toute étude en vue d'une exploitation forestière, il faut tenir particulièrement compte des conditions économiques. Le prix du produit fini sera fonction de tous les coûts de l'exploitation forestière, mais dépendra directement du prix de revient du bois sur pied. Ce prix de revient varie selon le propriétaire de la forêt, qui est une collectivité ou un particulier. Dans certains cas, il suffit de payer une redevance proportionnelle à la surface de la forêt, sans tenir compte de la productivité réelle. Il faut également tenir compte du développement économique du pays considéré. S'il n'y a pas de voie d'accès dans le massif forestier, ni de routes vers le port d'où les grumes seront expédiées ou si la route ou la voie ferrée est à une très grande distance, le coût de cet investissement pour les transports doit être pris en considération dans le calcul du prix de revient de la matière première. Il va sans dire qu'il est normal que, dans le cas d'investissements très importants de ce genre, les collectivités intéressées (pays, départements ou comtés) prennent en charge le financement de tout ou partie de la construction des voies de communication.

Aspect psychologique

En dehors de ces problèmes économiques, un des facteurs principaux de réussite est le côté humain du problème : main-d'œuvre, gestion et questions sociales. Les problèmes de main-d'œuvre sont les plus importants. Dès le début des études, il faut déterminer quelle sera la durée des opérations et si le travail en forêt sera saisonnier ou permanent. S'il est saisonnier, il faudra penser que la main-d'œuvre sera normalement moins soigneuse et que le matériel en souffrira davantage; un personnel permanent s'intéresse davantage au fonctionnement et à l'entretien des machines. Dans l'organisation d'un chantier, il faut donc chercher à utiliser le personnel en permanence, dans toute la mesure du possible, même s'il faut pour cela l'affecter à des tâches différentes : faire des reboisements ou des routes, par exemple, pendant une période de l'année et procéder à l'abattage et au débardage pendant d'autres périodes. Cependant, dans certains pays, les conditions climatiques — pluies sous les tropiques, neige dans les pays scandinaves — font qu'il n'est pas possible d'employer la main-d'œuvre pendant toute l'année, et il faut donc utiliser une main-d'œuvre saisonnière.

En dehors de cette question importante du travail saisonnier ou non, il convient de déterminer le genre de main-d'œuvre disponible. En pays surpeuplé, on dispose d'une main-d'œuvre abondante, souvent bon marché, parfois plus économique que la machine. Dans d'autres régions, même surpeuplées, la main-d'œuvre forestière est rare parce que le métier est dur et relativement mal payé; dans ce cas, la mécanisation permet généralement de revaloriser la profession. Il convient d'ajuster les salaires à la production. De toutes façons, il ne faut pas oublier que les ouvriers forestiers sont généralement rustres et brutaux avec les machines et l'outillage. Dans les pays en développement, on ne dispose pas en général d'une main-d'œuvre compétente; la main-d'œuvre venue du pays où les machines ont été construites coûtera peut-être trois à quatre fois plus cher. La main-d'œuvre locale ne sera souvent que des aides, qui pourront cependant être formés progressivement et affectés à des postes de responsabilité de plus en plus importants. Certains constructeurs ont fait des études sur les pertes de rendement sur les chantiers en fonction de l'organisation du travail; ils ont conclu qu'avec une équipe expérimentée, bien payée et convenablement encadrée, la perte par heure de travail est de 4 minutes, alors qu'avec une équipe nouvelle, mal coordonnée et moins bien payée, la perte serait de l'ordre de 10 minutes par heure.

Les problèmes de gestion sont également importants. D'après les études mentionnées plus haut, les pertes en minutes par heure en fonction de la qualité de la gestion sont de trois à sept minutes dans les pays industrialisés; dans un pays en développement, il faut doubler ces chiffres. En général, on estime qu'avec un coefficient de 0,85 le rendement d'un chantier est excellent; entre 0,60 et 0,75 il est acceptable; au-dessous de 0,50 le chantier est improductif du fait d'une organisation défectueuse.

Dans toute étude sur le coût éventuel d'une exploitation forestière, il faut tenir compte des lois et coutumes, ainsi que des usages du pays, en particulier des lois sociales qui limitent le nombre des heures supplémentaires de travail ou imposent des tarifs particulièrement élevés. Le coût des charges sociales doit également être pris en considération, car il varie très largement d'un pays à l'autre. Les assurances contre les accidents, tant pour le personnel que pour le matériel, varient aussi fortement. Enfin, il faut tenir compte des habitudes de travail; en effet, si on instaure une nouvelle méthode de travail, qui ne donne pas les résultats escomptés, les ouvriers reviendront très rapidement à leurs anciennes habitudes et reprendront une routine qui sera ensuite très difficile à contrecarrer.

Outils et machines utilisés en forêt²

Outils manuels

La hache est l'un des outils les plus anciens que l'homme ait utilisés; c'est l'instrument de percussion par excellence : une masse fixée à l'extrémité d'un manche décuple la force de frappe de l'ouvrier. Un autre outil de percussion, utilisé concurremment avec la hache, est la serpe; les formes varient selon les régions, la forme la plus parfaite étant sans doute la serpe italienne : son bec en forme de crochet permet non seulement d'élaguer et de tailler, mais aussi de tirer les bois et d'en faciliter la manutention.

Il faut encore citer le coin, servant à fendre les pièces de bois et également utilisé lors de l'abattage, ainsi que son complément indispensable : la masse. Avec les instruments de percussion, on peut citer les écorçoirs, sorte de pelles poussées le long des troncs pour en enlever l'écorce.

Dans une deuxième catégorie d'outils manuels, on trouve tous les instruments du type grattoir. Ces instruments ont pratiquement disparu depuis l'apparition de la tronçonneuse. Cependant, il existe encore sur le marché de petites scies, dites à émonder, qui sont montées au bout d'un manche et permettent d'émonder les arbres jusqu'à des hauteurs de 4, 5 et même 6 mètres.

Dans une autre série d'outils manuels, on trouve les pinces et les crochets utilisés lors de la manutention des pièces de bois.

Scies à moteur

Dans le modèle le plus courant de scies à moteur, la poulie d'entraînement est fixée directement sur le vilebrequin, par l'intermédiaire d'un embrayage centrifuge; le moteur tourne entre 6 000 et 12 000 tr/mn; étant donné que le diamètre de la poulie est de l'ordre de 3 à 4 cm, la vitesse de l'arête tranchante des maillons de la chaîne est de 10 à 20 m/s. La puissance nécessaire pour une scie à moteur est fonction de l'effort de pénétration de la chaîne dans le bois. Actuellement, la plupart des moteurs ont une puissance de 4 à 5 cv. Au cours des dernières années, de nombreux accessoires sont venus améliorer le confort de la scie à moteur; en particulier, un fabricant scandinave a imaginé de faire passer les gaz d'échappement dans les poignées de la machine, afin qu'en hiver les ouvriers se réchauffent les doigts pendant qu'ils travaillent. Certains dispositifs sont maintenant obligatoires dans beaucoup de pays, notamment un embrayage manuel commandé par l'ouvrier, qui se déclenche automatiquement si l'ouvrier lâche sa scie.

Tronçonneuses

L'outil à tronçonner le plus simple était autrefois le passe-partout; il a été remplacé par la tronçonneuse mécanique, qui a été pendant de nombreuses années le seul outil à chaîne utilisé régulièrement, en particulier sur les chantiers des scieries. Avec le développement de la scie à moteur, c'est la tronçonneuse-abatteuse qui s'est imposée peu à peu pour le débit des bois sur coupe. Ensuite, on a mis au point des machines à tronçonner les bois destinés à la trituration; certaines étaient portatives et pouvaient être utilisées n'importe où dans la forêt. La figure 4 montre une grande tronçonneuse-abatteuse. Ces machines ont connu un grand succès il y a quelques années. Il existe maintenant des combinés qui tronçonnent les bois et les empilent pour leur utilisation industrielle. La figure 5 montre l'une de ces machines. Dérivées de ces unités de tronçonnage, de véritables usines à conditionner le bois ont fait leur apparition, notamment dans les pays à économie planifiée et dans les pays de forte production forestière, tels que les Etats-Unis. La figure 6 montre l'une de ces machines. Dans les machines les plus sophistiquées, des « palpeurs » déterminent les qualités intrinsèques du bois et l'orientent automatiquement vers le tronçonnage approprié.

Ecorceuse³

La détermination du lieu optimal pour l'écorçage peut se traiter de façon mathématique : on compare le coût de l'écorçage en forêt et le coût de l'écorçage industriel, ainsi que les frais de transport des grumes (écorcées ou non écorcées) entre les différents points de traitement éventuel. A la suite des

² Pour plus de détails sur les travaux en forêt, voir le chapitre VIII.

³ Pour plus de détails sur l'écorçage, voir le chapitre XII.

études sur ce problème, on a conclu que le lieu optimal est en général fonction de la dimension des grumes et de la technique utilisée.

L'écorçage par friction est effectué avec les machines les plus simples. Ces premières machines à écorcer étaient de grands tambours dans lesquels les grumes étaient introduites et tombaient les unes sur

Figure 4. Tronçonneuse-abatteuse

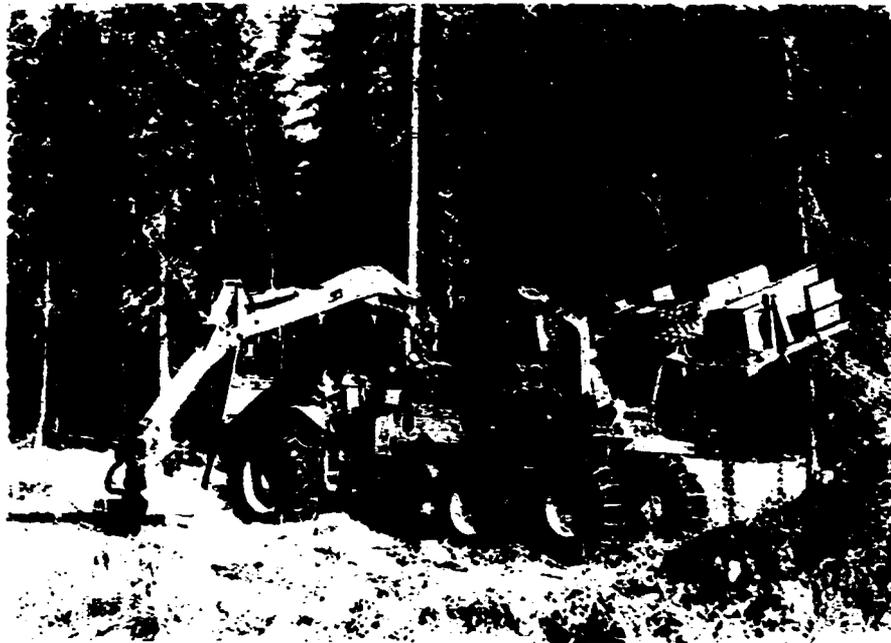


Figure 5. Combiné abatteuse-empileuse



les autres pendant un certain nombre de rotations, qui étaient fonction des dimensions des grumes. Cette méthode n'est plus guère utilisée que pour les bois destinés à la papeterie.

Figure 6. Combiné automatique



Les écorceuses à grattoir sont des machines dont les outils tournent autour de l'arbre et l'écorcent longitudinalement. Ces machines ont atteint une grande perfection; sur le marché mondial, ce sont certainement celles qui donnent les meilleurs résultats pour le prix de revient le plus bas. Elles permettent de faire une sélection dans les centres de triage; elles peuvent être adaptées à chacune des dimensions des grumes, en fonction du nombre des couteaux et travaillent donc dans des conditions optimales de rendement. La figure 7 montre une telle machine.

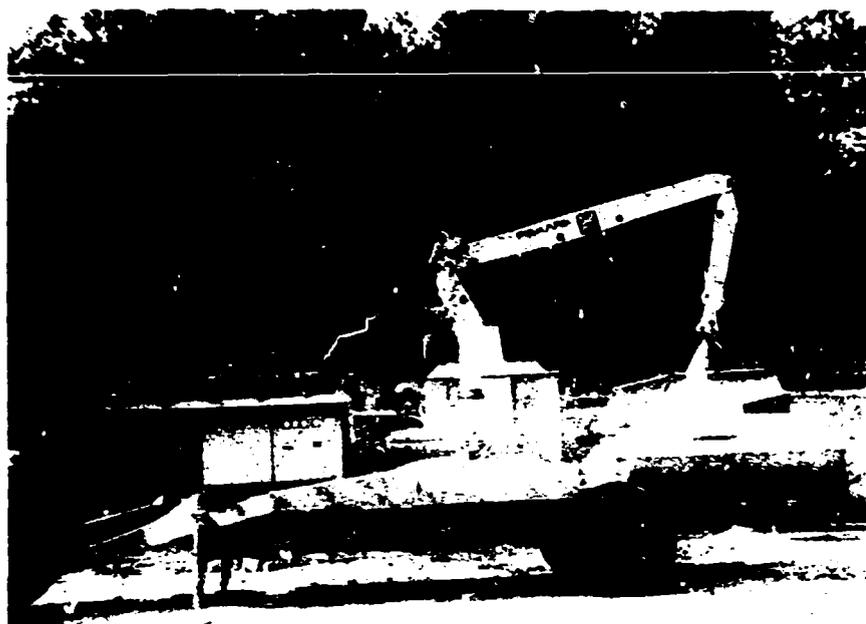
Parmi les autres modèles, il faut citer les écorceuses à fraises frottantes, qui agissent par un déplacement hélicoïdal; les fraises frottantes ont été remplacées par des fraises à couteau, qui font un écorçage de très belle qualité; cependant, ces dernières ont l'inconvénient, par rapport aux premières, de consommer une partie non négligeable du bois, puisqu'elle peut atteindre jusqu'à 5 %.

Machines combinées

L'étude comparée des diverses phases de l'exploitation forestière a montré que certaines d'entre elles se faisaient mieux à la main, tandis que d'autres devaient être mécanisées, mais l'étaient difficilement. Si l'on examine l'ensemble des phases de l'exploitation forestière, on constate que l'ébranchage, par exemple, est une opération qui demande jusqu'à 30 % du temps total des travaux en forêt et semble très difficilement mécanisable. Il s'est également avéré que l'écorçage manuel était une opération fastidieuse et onéreuse, car le rendement d'un ouvrier avec un écorçoir reste très faible, mais les premières tentatives de mécanisation en forêt n'ont pas été couronnées de succès. Les efforts des chercheurs ont porté sur la mécanisation de l'opération d'ébranchage. C'est ainsi que la première machine combinée a été la tronçonneuse-ébrancheuse. Ces deux opérations représentaient jusqu'à 60 % du temps de travail en forêt, alors que l'abattage proprement dit n'a jamais représenté plus de 5 % de ce temps, le reste étant des opérations de manutention, regroupement, transport, etc.

On a vu que la phase la plus longue dans l'exploitation forestière est l'ébranchage. Aussi, les constructeurs et les instituts de recherche se sont efforcés tout d'abord de mécaniser cette opération, ce qui était relativement facile dans les peuplements de résineux. Dans les premières machines vraiment opérationnelles, les arbres abattus manuellement — passent à travers une ceinture métallique où

Figure 7. Ecorceuse



des outils coupants ébranchent le fût, lequel est maintenu ou forcé à travers la machine par un système de vérins hydrauliques.

Ensuite, on a cherché à mécaniser l'abattage des arbres et à adapter sur la machine un dispositif d'ébranchage analogue à celui des machines précédentes. La première abatteuse-ébrancheuse a été le « Beloit-harvester », conçu et mis au point au Canada et aux Etats-Unis il y a plusieurs années. Mais cette machine était énorme et très onéreuse. Au cours des années suivantes, des constructeurs ont mis au point des machines comportant, comme le « Beloit », un sécateur hydraulique à l'avant et un système d'ébranchage analogue au précédent, c'est-à-dire de simples couteaux qui enserrant l'arbre et se déplacent le long du fût. D'autres constructeurs ont préféré utiliser une grue munie d'un sécateur hydraulique et d'une tête qui fait elle-même l'ébranchage avec des molettes à picots.

On peut rapprocher de ces techniques modernes les expériences faites récemment, notamment en Finlande, pour récupérer les souches des arbres, ceci afin d'augmenter dans une proportion de 10 à 15 % la production ligneuse des peuplements forestiers, tout en laissant un sol mieux préparé pour le reboisement. Les machines à dessoucheur ont une tête spéciale avec des lames verticales qui coupent les racines dans le sol; on peut ainsi retirer la totalité de l'arbre avec 10 % de plus de matières transformables en copeaux.

Tracteurs forestiers

Il y a plusieurs types de tracteurs forestiers :

a) Le tracteur classique, qui a été utilisé en forêt pendant de nombreuses années est le tracteur à quatre roues motrices de même diamètre; elles sont souvent toutes les quatre directrices, ce qui permet au tracteur d'avoir un très court rayon de braquage et de sortir aisément des ornières grâce à l'action combinée des roues avant et des roues arrière;

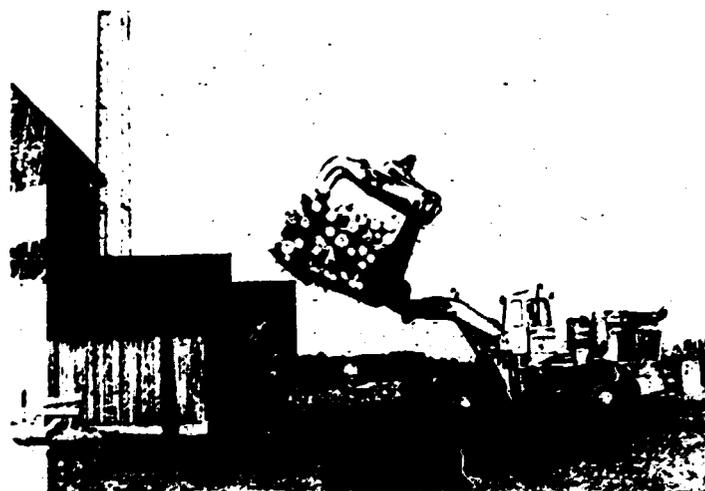
b) Le tracteur à châssis articulé (figure 8), qui a l'avantage de permettre à un engin relativement long d'avoir un rayon de braquage très court. S'il vient à tomber dans une fondrière, on arrive facilement à sortir deux des roues de la fondrière par un mouvement de va-et-vient dit « en canard » et on retrouve alors une adhérence suffisante pour permettre au véhicule de sortir de ce mauvais pas. Le châssis articulé a été adopté depuis quelque temps par les entreprises de travaux publics et a fait également son apparition en agriculture. La figure 9 montre un tracteur à châssis articulé, muni d'un élévateur à fourche. Ce type de tracteur a conquis la totalité du marché forestier, où il s'est substitué aux engins à quatre roues motrices et directrices et, en grande partie, aux tracteurs à chenilles. Les tracteurs à

châssis articulé sont généralement munis d'un treuil à l'arrière et d'une lame niveleuse à l'avant. Lorsque la seconde partie du châssis est relativement grande, ce tracteur peut être chargé à l'aide d'une grue hydraulique; c'est l'engin dit « Forwarder » (figure 10), utilisé maintenant de façon courante pour le débardage des bois débités et même des petites billes. Dans les forêts des pays scandinaves et d'Amérique du Nord, cet engin s'est pratiquement substitué à tout autre type de transport sur les coupes forestières;

Figure 8. Tracteur à châssis articulé



Figure 9. Tracteur articulé, avec élévateur à fourche



c) Le tracteur à chenilles rigides a été utilisé pendant de nombreuses années pour l'exploitation des forêts tropicales et des forêts vierges, lorsqu'il était nécessaire de tracer des voies d'accès dans les massifs forestiers. Ce tracteur est généralement muni d'un treuil puissant à l'arrière et de divers accessoires à l'avant;

d) Le tracteur à chenilles souples a divers avantages sur le précédent. L'inconvénient du tracteur à chenilles rigides est que, lorsqu'il circule en forêt, il n'a pas suffisamment de souplesse pour surmonter

les obstacles qu'il rencontre. C'est pourquoi un certain nombre de constructeurs se sont lancés dans la fabrication de tracteurs à chenilles souples, c'est-à-dire roulant sur des galets oscillants, ce qui permet aux chenilles de surmonter facilement les obstacles. Ces tracteurs se sont surtout développés au Canada et en Union soviétique:

e) Le tracteur à chenilles et à châssis articulé a fait son apparition il y a quelques années. Il allie les avantages des chenilles à ceux du châssis articulé. Ce type de tracteur a tout d'abord été utilisé pour les recherches pétrolières dans le Nord canadien. Il est particulièrement utile en terrain forestier ayant un faible pouvoir porteur, par exemple les zones marécageuses ou les zones enneigées une grande partie de l'année.

Figure 10. Forwarder



Les accessoires utilisés avec les tracteurs forestiers comprennent :

a) La pelle de débardage, qui était couramment utilisée autrefois dans les régions montagneuses; elle a malheureusement tendance à disparaître;

b) L'arche de débardage, qui est formé de deux roues et d'une sorte de bras de grue monté sur ces roues, le tout accroché derrière un tracteur à chenilles. Elle a été utilisée pendant de nombreuses années pour effectuer des débardages en soulevant la tête des grumes, pour éviter qu'elles traînent sur le sol, abiment ce dernier et ne se détériorent elles-mêmes. Grâce à cet accessoire, l'effort de traction est réduit de 30 à 40 % par rapport au trainage direct sur le sol;

c) Le triqueballe est un autre accessoire à roues, qui est utilisé derrière des tracteurs relativement légers pour transporter des grumes très lourdes : l'effort de traction est remplacé par un effort de roulement, qui est 20 ou 30 fois moindre;

d) La remorque à roues motrices est utilisée pour transporter les bois débités. Pendant de nombreuses années, on a eu recours à des remorques agricoles, et ce n'est que depuis quelques années que l'on a vu apparaître des remorques spécifiquement forestières. La remorque forestière est équipée d'une grue, généralement hydraulique, qui permet le chargement; les roues de la remorque sont motrices pour faciliter le passage dans les endroits particulièrement difficiles. La remorque munie d'une grue et de roues motrices est à l'origine des premiers « Forwarders », où le tracteur agricole était remplacé par un élément moteur, muni de deux roues simplement et rattaché à la remorque par un système d'articulation à vérin;

e) Le matériel de reboisement, de défrichage ou de travail du sol, qui peut être utilisé en forêt avec un vulgaire tracteur agricole pour préparer le sol ou entretenir les zones reboisées;

f) Les outils de défrichage et les pelles nivelcuses, notamment, qui sont utilisés en forêt avec des tracteurs à chenilles et qui permettent d'ouvrir des routes et de les entretenir, opérations généralement nécessaires avant l'exploitation de forêts vierges.

Treuil

Les treuils sont utilisés en forêt principalement à l'arrière des tracteurs de débardage, mais parfois à l'avant lorsque le treuil joue un rôle de dépannage. En effet, un treuil d'autohalage installé à l'avant d'un tracteur permet à ce dernier, s'il vient à s'embourber, de se dégager en toutes circonstances. Outre leur utilisation sur les tracteurs, les treuils peuvent servir à actionner des téléphériques, à un ou deux tambours; un tel dispositif permet de transporter des charges sur des distances parfois considérables.

Engins de manutention en forêt

La manutention de petites pièces de bois en forêt a fait de grands progrès au cours des dernières années; le chargement manuel des véhicules a été remplacé par une mécanisation totale, en utilisant des grues — notamment des grues hydrauliques — montées directement sur l'engin de débardage; on y a fait allusion dans la description des tracteurs et des remorques.

On a déjà mentionné les « Forwarders » au sujet des tracteurs à châssis articulé et des remorques forestières; le Forwarder est, en fait, un engin automoteur équipé d'une grue lui permettant de se charger et de se décharger lui-même. Il est important de noter que le déchargement à la grue est souvent utilisé parce qu'il permet au conducteur de faire une première sélection des bois.

Les transporteurs à bande, montés directement sur des remorques, permettent à des ouvriers de manipuler de petites pièces de bois, tels les bois destinés à la carbonisation ou à la trituration. Le bois est ramassé sur le sol, mis en tas, puis jeté directement sur le transporteur à bande.

Les monte-grumes hydrauliques et à treuils : pendant de nombreuses années, l'engin le plus couramment utilisé pour charger les camions a été le monte-grumes à câbles; on lui préfère de plus en plus les manutentions par bras hydraulique ou par grue.

Camions de transport

On distingue les divers modèles de camions par le nombre de roues et le nombre d'essieux. La multiplication des essieux porteurs permet de diminuer la pression unitaire au sol et, par conséquent, d'augmenter la charge qui peut être transportée.

Le fardier est une remorque attelée à un camion routier (figure 11) pour transporter des grumes ou des billes de toutes longueurs. C'est un engin spécial, à un ou deux essieux, qui peut être transporté à vide sur le camion lui-même (figure 12).

Il est essentiel que le freinage des véhicules de transport de bois soit particulièrement efficace; en effet, lorsqu'un véhicule chargé doit descendre de longues pentes, les freins normaux s'échauffent et perdent ainsi leur puissance de freinage. Il faut donc que les véhicules soient munis d'un ralentisseur à la sortie de la boîte de vitesse, ou équipés d'un dispositif de freinage à air comprimé.

Transport par câbles

Il existe plusieurs systèmes de transport par câbles, chacun ayant des avantages et des inconvénients. Il faut étudier les divers systèmes avec soin avant de prendre une décision à cet égard. Les systèmes les plus courants sont : le câble à charge perdue, le câble continu, le câble va-et-vient, le tricâble, le câble Wyssen et le câble Bloding.

Le système de câbles utilisant des ballons est particulièrement intéressant. Dans des régions accidentées à profil convexe, telles que les montagnes anciennes (Forêt Noire, Vosges, etc.), l'utilisation de téléphériques est rendue difficile du fait que la caténaire a toujours une forme concave. Des chercheurs ont pensé depuis longtemps à utiliser la force ascensionnelle des ballons pour permettre de maintenir la charge toujours au-dessus du sol sur de longues distances. Diverses solutions ont été essayées, surtout aux Etats-Unis et quelque peu en Union soviétique, mais on ne semble pas avoir dépassé le stade expérimental.

Les hélicoptères sont également intéressants. Des expériences ont été faites, il y a plusieurs années, avec des hélicoptères à grande puissance ascensionnelle. Certains appareils militaires peuvent emporter des chargements atteignant 40 tonnes, ce qui est largement suffisant pour soulever les arbres les plus importants de la plupart des forêts.

Autres modes de transport

Flottage

Le flottage du bois est une technique encore très utilisée dans l'hémisphère boréal. En fait, dans les régions de plaine, le transport du bois par flottage est l'une des plus anciennes méthodes connues. Par exemple, il existe en Norvège une association des flotteurs de bois dont les statuts remontent au XII^e siècle. La méthode traditionnelle est celle dite « à billes perdues » : pendant l'hiver, on stocke les bois sur la glace des lacs; au moment de la débâcle, on laisse les bois descendre la rivière, puis on les collecte à l'embouchure, où se trouvent en général les industries de transformation. C'est pourquoi au

Figure 11. Camion avec deux fardiers



Figure 12. Camion transportant son fardier



Canada et très souvent aussi dans les pays scandinaves, les concessions forestières correspondent au bassin d'une rivière. La totalité des bois du bassin peut être acheminée par flottage jusqu'à la papeterie ou la scierie située en aval de la vallée. Dans le cas d'un bassin important où il existe plusieurs concessions forestières, ce qui est fréquent en Scandinavie, de petites plaquettes métalliques fixées sur les grumes permettent à des trieurs de bois d'identifier les pièces destinées aux diverses usines. Cette opé-

ration est maintenant facilitée par de véritables centres de triage, dont certains — en Union soviétique — sont électroniques et quasi automatiques, qui permettent de classer les bois, non seulement en fonction de leur origine, mais aussi de leur qualité et de leur destination.

Transport par eau

Il ne faut pas confondre le transport par eau et le flottage. Le transport par eau consiste à transporter les bois dans des péniches sur des canaux conçus pour les transports de matières industrielles. On trouve au Canada et peut-être aussi dans d'autres pays des péniches en acier spécialement aménagées pour le transport des bois. Certaines péniches sont équipées pour pouvoir être déchargées sans intervention extérieure.

Transport par chemin de fer

Les voies de chemin de fer privées pour le transport des bois ont été très fréquentes au cours du XIX^e siècle et au début du XX^e, en particulier dans les pays en voie de développement où une voie ferrée coûtait généralement moins cher qu'une route et permettait de transporter des tonnages importants de bois, même sur des terrains particulièrement médiocres.

Prix de revient

Calcul du prix de revient d'un matériel au travail

Dans tout calcul de prix de revient, il faut considérer trois types de frais : les frais fixes, les frais proportionnels et les frais de fonctionnement.

Frais fixes

La dépréciation ou amortissement du matériel est un frais fixe. D'année en année, une machine perd de la valeur. Il faut donc que, quand elle est devenue inutilisable, le propriétaire ait à sa disposition le capital nécessaire pour la remplacer. Il est donc essentiel de déterminer la durée de vie de la machine. Cette estimation est très importante, car le prix de revient horaire d'une machine dépend en grande partie du nombre d'heures d'utilisation annuelles. Le nombre d'heures d'utilisation d'une machine est fonction de sa productivité et de ses conditions d'emploi. En principe, la durée de vie utile est déterminée par le moment où les frais de réparation deviennent supérieurs aux frais d'exploitation. La méthode la plus simple est de considérer l'amortissement directement proportionnel au temps, dite la méthode linéaire. On lui oppose une méthode plus rationnelle qui consiste à prendre chaque année la valeur réelle sur le marché de l'occasion; on obtient ainsi une courbe qui s'éloigne fortement d'une droite, car elle est du type exponentiel. Dans le calcul du prix de revient, il est préférable de prendre l'heure comme unité de temps; on tient compte de l'amortissement en divisant la valeur d'achat moins la valeur de revente par le nombre d'heures total pendant lequel on amortit la machine.

Il convient de noter que pour certaines machines, en particulier les tracteurs à chenilles, il faut amortir séparément le train de chenilles et le tracteur proprement dit; en effet, le train de chenilles s'use beaucoup plus vite que le tracteur. Il en est de même avec les pneumatiques de grande dimension utilisés sur les engins de travaux publics. Dans l'amortissement des machines, il faut toujours tenir compte de leur âge; en effet, même si une machine a peu travaillé et reste donc utilisable pendant de nombreuses heures, elle peut avoir perdu la presque totalité de sa valeur initiale au bout d'un certain nombre d'années.

Un autre élément à incorporer dans les frais fixes sont les intérêts du capital investi dans l'achat de la machine; ces intérêts devraient normalement être calculés sur la valeur restant de ce capital au fur et à mesure de l'amortissement de la machine. Il faut également tenir compte des assurances, impôts, frais de garage, etc.

Frais proportionnels

Ces frais se composent des frais d'entretien et des frais de fonctionnement. Dans le cas de véhicules, les frais d'entretien du train de roulement peuvent être considérés séparément des frais d'entretien du

reste du véhicule : organes mécaniques, freinage, embrayage, etc. Les frais de réparation sont plus ou moins importants, mais existent toujours sur toutes les machines : téléphériques, engins de débardage, etc.

Il faut également tenir compte des frais d'entretien des accessoires, par exemple pour les tracteurs. Si on amortit proportionnellement le fonctionnement du tracteur lui-même, il faut faire de même pour tous ses accessoires : câbles, arche de débardage, etc.

Frais de fonctionnement

L'énergie nécessaire au fonctionnement d'une machine peut être fournie par un carburant ou par du courant électrique. Pour calculer la consommation de carburant d'un tracteur, par exemple, on peut se fonder sur les courbes théoriques de consommation des moteurs, en faisant la correction voulue en fonction de l'efficacité réelle de l'engin. Outre le carburant, il faut tenir compte des lubrifiants, graisses et autres fournitures. Le plus souvent, ces frais sont proportionnels aux frais de carburant; la proportion est de l'ordre de 20 %, et tombe quelquefois à 4 ou 5 % pour les machines-outils.

Un élément important des frais de fonctionnement est constitué par les salaires et charges sociales afférents au personnel qui participe de façon régulière à l'utilisation et à la maintenance de la machine.

Utilisation des prix de revient

On peut faire une détermination théorique de la méthode de travail optimale. Lorsqu'on a mis sous forme d'équations les prix de revient de chaque opération, on peut les comparer par une méthode graphique ou algébrique. En effet, la plupart de ces prix de revient peuvent être exprimés par des équations du premier degré. Il est donc facile de tracer des droites coupant l'axe des ordonnées en un point fonction des frais fixes et ayant une pente fonction des frais proportionnels. En général, on exprime les prix de revient en fonction de la production en m³, avec des paramètres tels que la distance pour le débardage, la grosseur des grumes pour le tronçonnage, etc. En comparant un certain nombre de méthodes de travail pour une même exploitation forestière, on peut déterminer qu'une méthode est optimale pour une distance donnée, tandis qu'une autre est plus économique à partir d'un certain volume, etc. On se trouve finalement devant un certain nombre de courbes qui finissent par cerner le problème; dans la plage restante, on trouve les conditions optimales pour qu'une exploitation forestière donne les meilleurs résultats économiques. Il va de soi qu'une telle étude peut être faite facilement par un ordinateur auquel il suffit de donner les contraintes linéaires de chaque cas d'espèce considéré. On détermine ainsi la meilleure méthode théorique de travail.

On peut ainsi faire une analyse très fine, qui permettra par exemple de décider de l'implantation d'un réseau routier ou d'un système de téléphériques dans un massif forestier, en connaissant à l'avance les avantages et les inconvénients des deux solutions du point de vue de la productivité. Cependant, il faudra avoir toujours présents à l'esprit les problèmes sociaux qui peuvent résulter de la mécanisation des opérations.

Conclusions

Le choix du matériel et des méthodes d'exploitation forestière peut être déterminé à la suite de calculs, lesquels peuvent être faits à l'aide d'ordinateurs. Cependant, cette méthodologie raffinée doit être préparée et analysée par des techniciens et ingénieurs ayant les connaissances voulues pour proposer les méthodes et les machines appropriées et, surtout, pour analyser les conséquences sociales et psychologiques de leurs projets et recommandations.

En effet, les problèmes humains ne peuvent pas être traités dans les calculs, quels qu'ils soient. Ce sont les qualités de bon sens et de perception des responsables qui sont souvent à la base de la réussite ou de l'échec d'un projet.

VIII. Mécanisation des travaux en forêt*

Les opérations forestières commencent avec le choix de la forêt à exploiter. Les arbres sont abattus, débités et livrés aux usines de transformation¹. L'industrie des produits dérivés de l'exploitation des forêts — qui comprend, entre autres, les secteurs de la coupe du bois, de la production de cellulose, de papier, de contre-plaqué et panneaux de particules — a acquis aujourd'hui une importance considérable dans de nombreux pays tant sur le marché national qu'à l'exportation, constituant même la principale source de revenus des pays dotés de grands domaines forestiers.

Lorsqu'on planifie une exploitation forestière, il faut avant tout respecter les règlements locaux et nationaux. Au cours des dernières années, ces règlements sont devenus de plus en plus stricts, tant pour la conservation des forêts que pour la préservation de l'environnement. Les services forestiers nationaux et d'autres organismes responsables de la mise en valeur des terres cultivables coopèrent pour réglementer l'utilisation des sols, que ce soit pour la réforestation, l'agriculture ou l'élevage.

En conséquence, il n'est plus possible aujourd'hui d'exploiter à volonté les bois et forêts. Au contraire, il faut tout d'abord connaître les lois et règlements concernant l'érosion du sol, la construction de routes, la protection contre les incendies et les modes d'exploitation forestière. Ce n'est qu'après avoir acquis une bonne connaissance des vues et des plans de divers organismes gouvernementaux que l'on peut se lancer dans l'exploitation forestière, dont le premier stade est le choix du matériel le mieux approprié. Au cours des cinquante dernières années, le matériel pour l'exploitation forestière, la mise en valeur des terres, la construction de routes, etc., a été sans cesse amélioré et est devenu de plus en plus productif. En même temps, on a de plus en plus perfectionné les normes et dispositifs de protection des travailleurs.

Aujourd'hui, l'engin de base pour tous les travaux en forêt est le tracteur à chenilles. Aménagé et équipé de manière appropriée, le tracteur à chenilles présente les avantages suivants : force de poussée, stabilité dans toutes les directions, notamment sur des terrains en pente, manœuvrabilité dans des espaces restreints et sur terrains meubles.

Défrichage

Le défrichage fournit des matières premières pour l'industrie du bois, prépare le terrain pour les programmes de reforestation ou de mise en culture ou la construction d'habitations. Dans les travaux de défrichage, on utilise l'angledozer pour abattre des arbres, arracher les souches, extirper les broussailles et autres végétaux, empiler les déchets et pousser les arbres abattus jusqu'à l'aire de chargement. L'angledozer sert également aux travaux de nivellement et de terrassement. Le principal avantage de l'angledozer est que les outils spéciaux qui l'équipent peuvent être fixés soit perpendiculairement soit obliquement par rapport au sens de la marche, selon le travail à effectuer. En outre, la structure à portique de la traverse de poussée de l'angledozer permet d'y fixer une plus grande variété d'outils que sur un bulldozer ordinaire, où la lame est fixée sur les bras de poussée. Sur le bulldozer, le remplacement de la lame est une opération plus compliquée, plus coûteuse et plus laborieuse; de plus, la lame ne peut pas être placée en oblique. En un mot, l'angledozer est l'engin le plus approprié pour ouvrir des routes et pour déplacer des troncs d'arbres.

* Par M. Caselli, expert en matériel forestier. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/5/Rev.1.)

¹ Pour plus de détails sur l'exploitation forestière, voir le chapitre VII.

Dispositifs de l'angledozer

Prise de force

L'inversion rapide du sens de la marche est une condition essentielle pour la sécurité du conducteur et la sauvegarde de l'engin en cas de danger (chute d'arbres, fossés cachés par la végétation, grosses souches, etc.). La pédale de commande de la prise de force permet des mouvements de très faible amplitude et, par conséquent, un travail très précis. Un autre avantage est l'accouplement prise de force-embayage, qui facilite l'utilisation de la poussée maximale de l'engin et rend le conducteur plus sensible à tous les mouvements. En outre, la transmission rigide à friction permet au conducteur de sentir immédiatement toutes les variations de résistance à l'avancement de l'engin.

Protections

Le bulldozer, quel que soit son type, doit être équipé de dispositifs de protection, tant pour la sécurité du conducteur que pour limiter les dommages à l'engin. Les causes de dommages peuvent être des rocs ou des souches, des branches ou des buissons et la chute d'arbres. Un cadre robuste, fixé au bouclier du radiateur, protège le conducteur, le moteur et le tuyau d'échappement; les traverses du cadre doivent avoir un profil qui n'entraîne pas la pénétration de l'engin dans la forêt. Le cadre est complété par des tôles et des grilles, à l'arrière et sur les côtés, pour empêcher que des branches ou du feuillage ne pénètrent dans la cabine du conducteur. La construction de cet ensemble doit être assez robuste pour qu'il résiste en cas de renversement de l'engin. Divers autres dispositifs protègent les organes mécaniques délicats de l'engin.

Treuil

Un treuil robuste et puissant est installé à l'arrière de l'engin, à une hauteur appropriée pour remorquer des troncs d'arbre de grand diamètre ou plusieurs petits troncs à la fois. L'extrémité avant des troncs remorqués ne doit pas toucher le sol, afin d'éviter les obstacles du terrain. A cet effet, on adjoint souvent au treuil un guide-câble (figure 1), qui élève sensiblement la ligne de traction par rapport

Figure 1. Guide-câble utilisé comme accessoire du treuil



au niveau du sol. En général, le treuil est équipé d'un crochet qui permet de remorquer des traîneaux, des brise-mottes ou d'autres outils pour la préparation du terrain.

Le bulldozer avec treuil est indispensable pour le remorquage sur terrains accidentés, en pente, boueux, parsemés de rochers ou de souches, c'est-à-dire partout où des engins à roues ne seraient pas suffisants et où les pneus risqueraient d'être fortement endommagés.

Enlèvement de la végétation

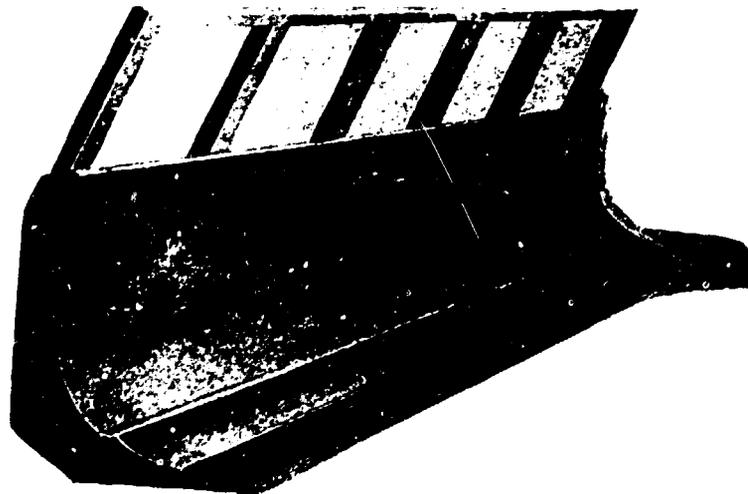
On utilise souvent un tracteur à chenilles pour abattre les arbres en les coupant au ras du sol. En taillant les arbres au ras du sol, on limite à un minimum la perte de matières premières. L'outil trancheur, monté à l'avant du tracteur, peut couper des troncs ayant jusqu'à 60 cm de diamètre. Cependant, l'emploi de la scie mécanique ordinaire est encore très répandu pour l'abattage des arbres. Pour un travail moins efficace, on utilise l'angledozer, qui permet une grande variété d'opérations : abattage des arbres, arrachage de la végétation avec des chaînes, enlèvement des souches, débroussaillage et enlèvement des débris, traction des troncs abattus.

Abattage des arbres

Pour ce travail, on utilise les outils spéciaux suivants :

a) *Lame oblique trancheuse* (figure 2). Il s'agit d'une lame en position fixe, faisant un angle de 30°, pourvue d'une arête tranchante épaisse et d'un éperon à une extrémité; le versoir a un profil courbe. L'arête tranchante et l'éperon peuvent être démontés et affûtés. L'éperon entaille le tronc et le brise par suite de la poussée désaxée de l'engin; la lame achève le travail d'abattage. Un cadre, incliné vers l'avant et renforcé par des traverses, peut être soudé sur la partie supérieure du versoir pour empêcher que les arbres abattus ne tombent sur l'engin; il sert également à contenir la végétation basse arrachée. L'inclinaison de la lame fait que les arbres tombent toujours du même côté de l'engin, ce qui facilite le ramassage. Cet outil peut également servir pour niveler et égaliser le sol, pour creuser des fossés de drainage (en position renversée) et pour ramasser et mettre en tas les débris. En plusieurs passages, cet outil permet aussi de déraciner les souches enterrées.

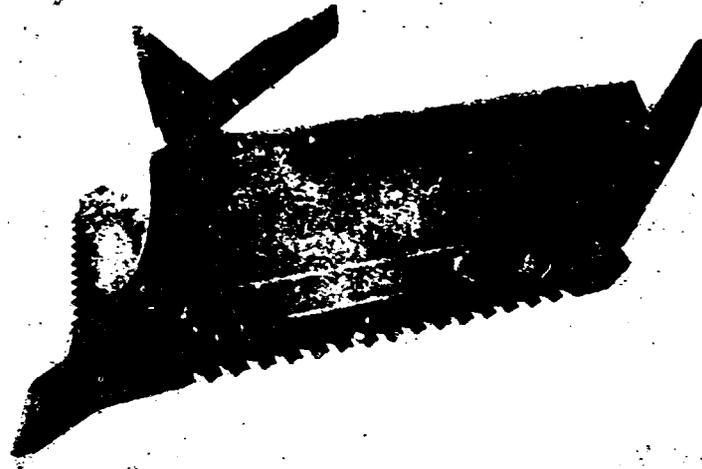
Figure 2. *Lame oblique pour l'abattage des arbres. Les arbres sont poussés d'un côté*



b) *Lame « en V »* (figure 3). Elle est constituée de deux lames courbes assemblées pour former un V. Au sommet, un éperon pointu sert à briser. Les arêtes tranchantes des deux lames sont dentées et affilées. Des cadres de protection convergents sont soudés à l'extrémité supérieure des lames. Cet outil peut être fixé directement sur l'engin par des bras qui remplacent la traverse de poussée. Cet outil est très efficace et a un bon rendement dans l'abattage des arbres, l'enlèvement des souches et le défrichage

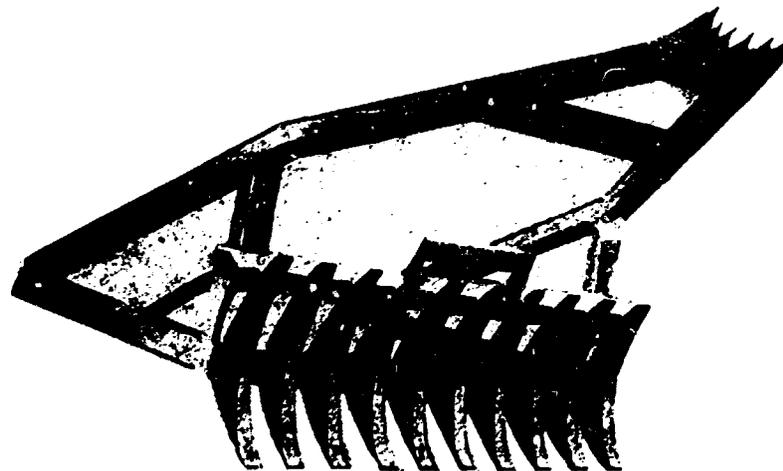
des sous-bois. Toutefois, il ne fait qu'un travail grossier et désordonné, qui rend plus laborieuses les opérations ultérieures de ramassage et de déblaiement du terrain. Du fait de son action destructrice sur la végétation, la lame en « V » n'est utilisée que lorsque le facteur important est la rapidité de l'opération. Cet outil ne permet ni de faire des excavations, ni de mettre en tas les débris.

Figure 3. Lame en V pour abattage grossier



c) Abatteur-pousseur (figure 4). Il s'agit d'un châssis rigide, formé de deux barres convergentes, relié par des charnières à la traverse de poussée de l'engin et fixé par des fourches et des entretoises sur la lame; au sommet des deux barres on fixe un éperon à plusieurs dents très affilées. Cet outil déracine les arbres, étant donné que la pression exercée sur le tronc à une certaine hauteur du sol est bien plus forte que la pression au ras du sol; on élimine ainsi l'opération d'enlèvement des souches. En

Figure 4. L'abatteur-pousseur déracine les arbres



revanche, l'abattage est très violent : les souches et les racines sont simultanément extirpées; il s'ensuit des trous profonds dans le sol, qu'il faudra remplir ultérieurement. Il existe d'autres types de cet outil, qui peuvent être fixés sur un angledozer, avec articulations et commande par vérins hydrauliques (figure 5).

d) Cadre pousseur (figure 6). Il s'agit d'un châssis rectangulaire, en portique, que l'on fixe sur un bulldozer ou un angledozer et qui peut être démontable ou soudé. La traverse du cadre, renforcée par des cornières, constitue l'élément de poussée; étant donné sa longueur, elle peut agir simultanément sur plusieurs troncs. Cet outil est utilisé dans les bois de moyenne futaie; il peut être associé à une lame oblique ou à une lame à débroussailler.

Figure 5. Abatteur-pousseur. Les souches sont extirpées, d'où formation de trous profonds

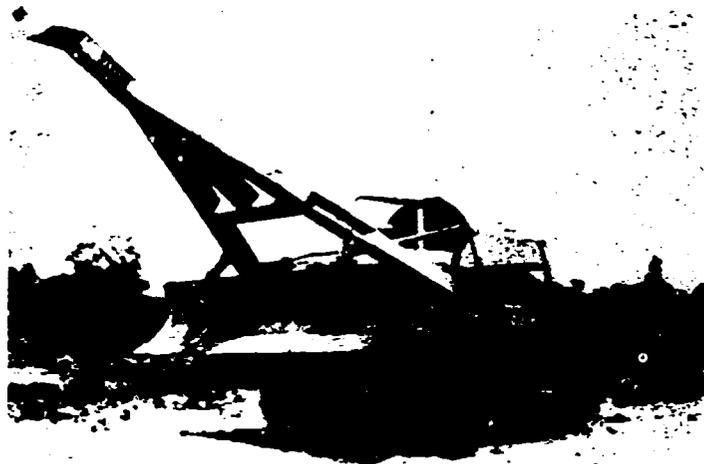
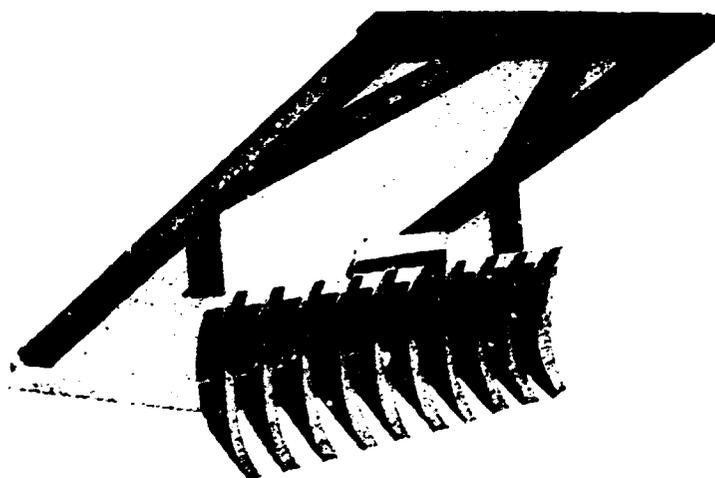


Figure 6. Cadre-pousseur pour le travail dans les taillis



Arrachage avec chaînes

Les chaînes sont utilisées, avec de bons résultats, pour extirper les broussailles de type aride ou semi-aride. On se sert de chaînes d'ancre de bateau normale, dont on attache les extrémités à la barre de traction de deux angledozers équipés pour le travail en forêt. Les engins se déplacent parallèlement, à une certaine distance l'un de l'autre, en tirant la chaîne. Celle-ci racle le sol selon une ligne concave et arrache la végétation dans la bande comprise entre les deux engins; la largeur de cette bande est égale à environ un tiers de la longueur de la chaîne. Pour mieux vaincre les résistances, la chaîne est divisée en tronçons reliés entre eux par des articulations. Le diamètre des maillons de la chaîne est de 50 à 80 mm, selon le type de végétation à arracher et la puissance des engins. Souvent, un troisième angledozer — muni d'un cadre ou d'un bras pousseur — suit le parcours de la chaîne et intervient dans

les endroits de plus grande résistance, afin de dégager la chaîne et de donner au travail un rythme plus continu et régulier. Ce troisième engin est également chargé d'abattre les arbres de plus grande taille qui ne pourraient pas être déracinés par la chaîne. Parfois, pour que la chaîne suive mieux le relief du terrain, on l'alourdit en y intercalant une ou plusieurs sphères en acier ou remplies de ciment. Toutefois, ce dispositif ne peut pas être utilisé si le terrain est humide, boueux ou trop irrégulier. Ces sphères ont un diamètre de 1,20 à 1,80 m et pèsent de 2 à 6 tonnes. Dans les opérations avec des chaînes, il est préférable de faire un deuxième passage perpendiculaire au premier.

Enlèvement des souches

Les souches qui restent enterrées — soit que les troncs aient été sciés ou coupés, soit qu'ils aient été cassés à la base — sont extirpées avec des outils spéciaux.

Essoucheur excavateur

Il existe plusieurs versions d'essoucheurs. Essentiellement, l'outil se compose d'une épaisse plaque d'acier, munie de dents à sa partie inférieure. La plaque est fixée au centre de la traverse de poussée de l'angledozer, à la place de la lame. Etant donné que la poussée est concentrée sur une surface très étroite, l'outil pénètre sous la souche et la déchausse (figure 7).

Figure 7. L'essoucheur pénètre sous l'arbre et déchausse la souche



L'essoucheur peut être formé par une lame courte et robuste dans laquelle les dents sont découpées, ou bien par une structure caisson, qui forme un angle avec la plaque de façon à utiliser la poussée désaxée de l'engin; dans ce cas, les dents sont soudées perpendiculairement à la plaque (figure 8). Pour déchausser les souches des gros arbres sciés à la base, il faut commencer par scier les racines et diviser la souche en plusieurs parties qui seront déchaussées séparément. A cet effet, un long éperon affilé est soudé sur l'essoucheur, perpendiculairement à la plaque.

Essoucheur par traction

L'essoucheur par traction (figure 9) est semblable à une défonceuse à une dent, très longue et robuste. Il est commandé hydrauliquement ou par un treuil. La dent est courbe et tranchante; elle pénètre dans le sol, extirpe les souches et les blocs de pierre, arrache et coupe les racines.

Extirpation et déblaiement de la végétation basse et des débris

Cette opération est la plus commune dans les travaux de défrichage. Les outils utilisés ont tous la même structure, mais ils diffèrent dans les détails, suivant l'usage auquel ils sont destinés : les outils

à plusieurs fins sont plutôt légers; les outils spécialisés sont plutôt lourds. Ces outils servent à abattre les arbres de petit diamètre, à extirper des souches et des blocs de pierre, à déblayer la végétation basse, à pousser et à entasser les débris.

Figure 8. Essoucheur muni d'un éperon

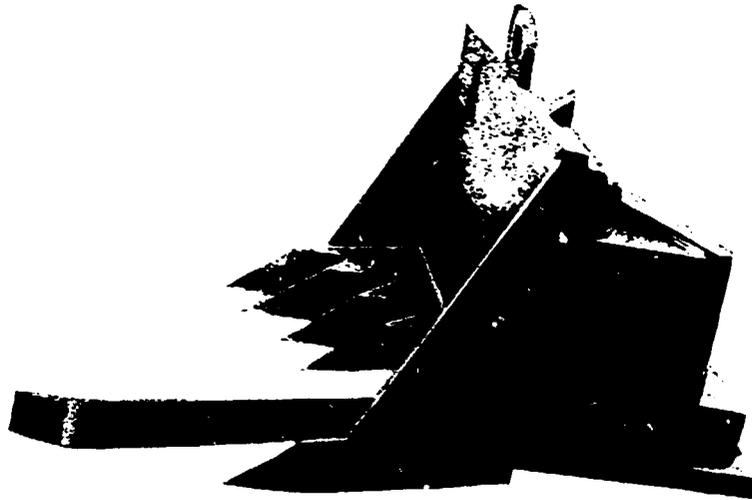


Figure 9. Essoucheur par traction



Lame râtelier

Il existe une grande variété de lames râteliers (figures 10 et 11). Il s'agit essentiellement d'une longue traverse, telle que celle d'un angledozer, munie de dents courbées vers l'avant ou vers le bas; les dents peuvent être fixes ou amovibles, longues ou courtes, simples ou doubles (c'est-à-dire réversibles); leur forme et leur solidité doivent être choisies en fonction des difficultés du terrain.

Parfois, une plaque d'acier est fixée derrière la traverse pour mieux protéger l'avant de l'engin. Au lieu d'une plaque, on peut aussi fixer une grille très robuste qui sert à la fois à abattre les arbres et à contenir la végétation et les débris à déplacer. La lame râtelier peut être utilisée à la place d'une lame oblique; elle est particulièrement indiquée pour la mise en tas des débris, qui sont ensuite brûlés

sur place ou enlevés avec d'autres engins. D'autres lames râpeaux ont des emplois plus spécialisés et lourds (extirpation de souches ou de grosses pierres), ou bien plus généraux et légers (arrachage de buissons et ratissage du soi).

Figure 10. Type utilisé pour nettoyer des terrains particulièrement difficiles

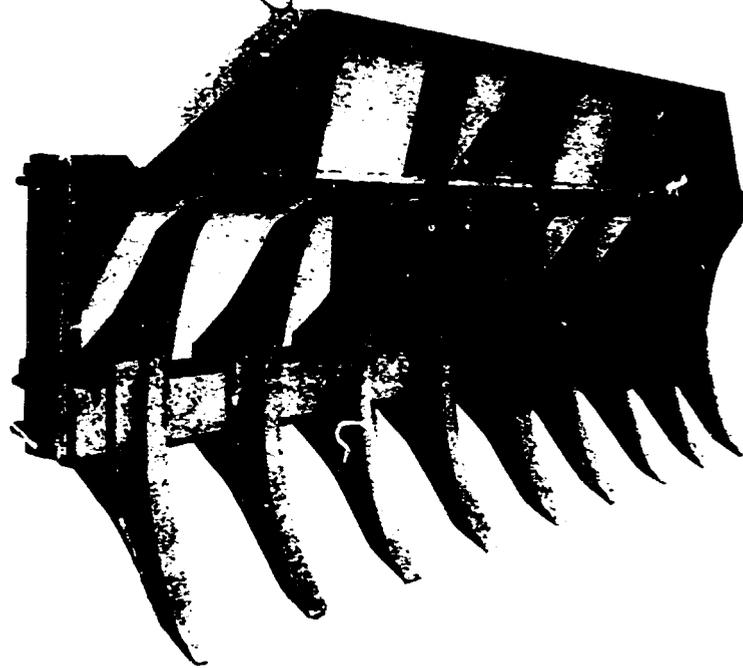
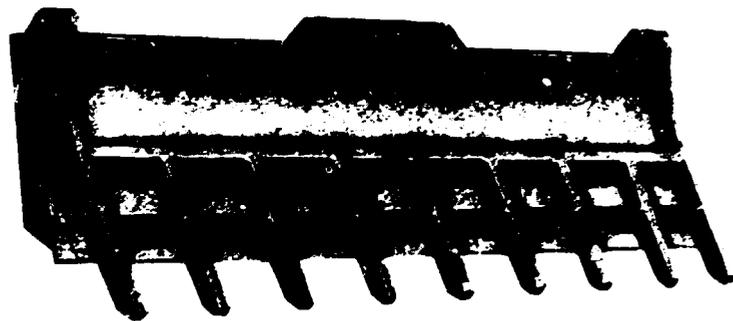


Figure 11. Lame râpeau pour angledozer. Type convenant à des travaux légers



La lame râpeau est un outil facilement démontable; elle permet donc d'adapter rapidement l'angledozer à des travaux assez légers, tels que le déblaiement de la petite végétation ou le transport et la mise en tas de débris.

Transport des troncs

Pour effectuer cette opération, l'engin doit être équipé d'un treuil. Les engins à chenilles s'adaptent à tous les terrains, tandis que les engins sur roues ne peuvent être utilisés que sur des terrains d'une certaine consistance, compte tenu de la vulnérabilité des pneus. Le treuil est un accessoire essentiel des engins utilisés dans les opérations de défrichage.

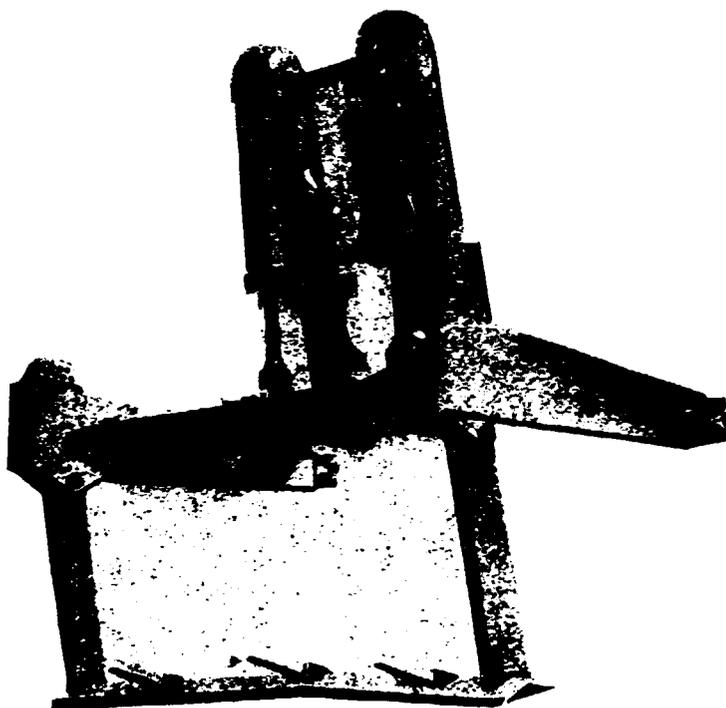
Nettoyage du sol

Si le terrain est défriché pour être mis en culture ou pour y faire des plantations, il faut éliminer les racines enterrées, briser les aspérités du sol et broyer les débris. Pour ces opérations, l'engin sert à la traction de divers outils.

Les outils utilisés pour le nettoyage du sol sont les suivants :

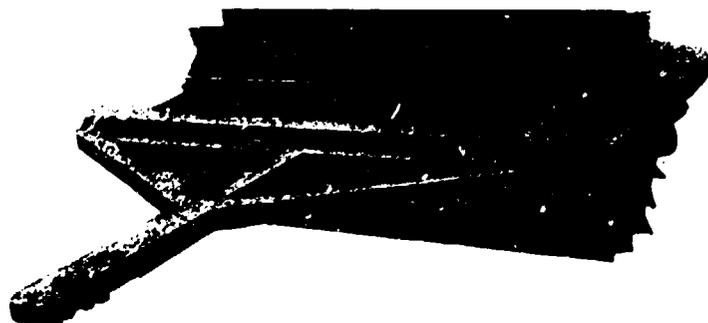
a) *Lame coupe-racines* (figure 12). Elle est montée à l'arrière de l'angledozer, grâce à des bras rattachés à la traverse de l'engin. La lame pénètre dans le sol à l'aide de vérins hydrauliques et travaille horizontalement.

Figure 12. Lame coupe-racines. La lame est enfoncée dans le sol par les vérins hydrauliques



b) *Cylindre concasseur* (figure 13). C'est un cylindre creux, rempli d'eau pour l'alourdir. Il est muni de couteaux longitudinaux, soudés sur sa face extérieure. Il est tiré par l'engin et fait un travail

Figure 13. Cylindre concasseur. Le cylindre est rempli d'eau pour l'alourdir



très soigné d'égalisation du sol, par l'effet de son poids et des couteaux, qui fragmentent les débris de végétation et la croûte du sol, sans endommager le sous-sol. Le cylindre concasseur est employé seul ou en groupes de deux ou trois.

c) Herse à disques (figure 14). Elle sert à préparer le sol avant sa mise en culture. Elle est constituée essentiellement par un bâti lourd servant de support à un cylindre sur lequel sont fixés des disques à dents tranchantes. La herse peut travailler perpendiculairement ou obliquement par rapport au sens de la marche de l'engin. Dans certains modèles, le bâti est en forme de V, de sorte que les disques travaillent dans deux directions obliques opposées. Le bâti peut être rigide ou articulé; dans le second cas, son orientation peut être faite à la main, par câble ou hydrauliquement.

Figure 14. Herse à disques - bâti en forme de V



Ouverture de pistes

Avant d'entreprendre les travaux de défrichement proprement dit, il faut tracer des pistes pour le passage des engins et du personnel, ainsi que des pistes pour traîner les troncs abattus jusqu'à l'aire de chargement sur des moyens de transport. Les pistes peuvent être rudimentaires si elles ne sont que provisoires (par exemple quelques mois) et ne doivent servir qu'au défrichement. Si les pistes doivent être utilisées ultérieurement, à d'autres fins, elles peuvent être réactivées ou entièrement refaites. Les pistes provisoires sont justifiées du point de vue économique, étant donné qu'elles n'exigent aucun entretien. Si les pistes sont prévues pour être transformées en voie de communication vers des centrales électriques, des mines, des pâturages ou des lieux d'intérêt touristique, l'opération initiale doit être plus soignée. Dans tous les cas, l'engin utilisé pour l'ouverture de pistes est le bulldozer à chenilles équipé d'une lame inclinable hydrauliquement.

Le choix du bulldozer dépend du type de terrain (sableux, argileux, rocheux ou mixte) et du diamètre des troncs à abattre. Dans les opérations assez variées, le bulldozer a tout avantage à être équipé avec le dispositif de basculement hydraulique. Pour les opérations d'abattage plus difficiles, il faut recourir aux engins et outils mentionnés au sujet du défrichement. Si le travail à effectuer est particulièrement léger, on peut utiliser l'angledozer mentionné au sujet du défrichement.

Équipement des engins

Lame en L

Comparée à la lame droite, la lame en L a un effet de coupe plus efficace à ses extrémités, qui sont inclinées vers l'avant et permettent d'accumuler et de transporter une plus grande quantité de matériaux.

Basculement hydraulique

Sous l'effet du basculement, la lame s'incline de façon qu'une de ses extrémités soit dirigée vers le sol. La commande hydraulique de basculement permet au conducteur de faire effectuer ce mouvement à la lame au rythme qu'il juge nécessaire. Le basculement est particulièrement efficace pour déloger les blocs de pierre ou les souches et pour égaliser le sol, étant donné que son réglage peut être continuellement adapté aux irrégularités du terrain pendant l'avance de l'engin. Le basculement permet aussi de briser les mottes, afin de faciliter l'opération ultérieure d'excavation, ou de maintenir le sens de la marche lorsque des obstacles imprévus pourraient faire dévier l'engin.

Prise de force

L'intérêt de la prise de force moteur a été expliqué plus haut. Il est avantageux d'avoir la transmission par friction en bain d'huile combinée à la prise de force moteur.

Treuil

Le treuil sur le bulldozer est particulièrement utile pour l'ouverture de pistes. Il peut servir à dépanner l'engin lui-même ou d'autres engins en difficulté. Il sert à extirper les souches, à déplacer des blocs de pierre ou les troncs qui encombrant la piste. Il est conseillé d'équiper le treuil d'un guide-câble assez haut pour faciliter les manœuvres lorsque l'engin tire des charges.

Défonceuse

La défonceuse est particulièrement utile dans les travaux d'ouverture de pistes. Elle sert également lorsque le terrain à défricher est argileux et compact, ou lorsqu'il faut briser un terrain rocheux pour faciliter le travail d'excavation. Le choix du type de défonceuse (à dents multiples ou à une seule dent) dépend de la nature du terrain. Autant que possible, c'est-à-dire si le terrain n'offre pas une trop grande résistance, on tend à utiliser la défonceuse à trois dents, pour des raisons de coût de fonctionnement. La défonceuse à une dent est nécessaire lorsque le terrain se brise en blocs de grande dimension; la technique consiste à avancer à vitesse réduite et à la profondeur maximale, plutôt qu'à grande vitesse et à faible profondeur; en effet, une vitesse réduite limite l'usure des organes de traction ainsi que les contraintes dynamiques.

Les travaux très difficiles exigent l'utilisation d'un bulldozer d'une classe assez élevée, du fait qu'il faut disposer de la puissance et du poids suffisants pour la traction de l'engin et la pénétration des dents dans le sol.

Rouleaux compacteurs

Ces rouleaux, tractés par le bulldozer, peuvent être simples ou vibrants; les derniers tassent le sol même en profondeur. Le compactage égalise la surface du sol et le dôme, ce qui favorise l'écoulement des eaux et assure ainsi une plus longue durée de la piste. Lorsque le terrain présente des aspérités rocheuses qui pourraient endommager ultérieurement les pneus des engins de transport, il faut utiliser des rouleaux compacteurs à grille très lourds qui permettent d'obtenir une surface dure et assez uniforme.

Conclusions

L'engin à chenilles, spécialement équipé, est un engin universel dans les travaux en forêt.

Pour les travaux de défrichage, l'engin le plus approprié est l'angledozer à chenilles, qui a les caractéristiques suivantes :

a) Prise de force moteur, de préférence avec transmission à friction (au lieu du convertisseur), dispositifs de protection de l'engin et du conducteur;

- b) Possibilité d'adaptation d'outils spécialisés interchangeables, pour abattre les arbres, extirper les souches, enlever la végétation basse et déblayer le terrain des débris;
- c) Possibilité de tracter des outils pour couper les racines enterrées, égaliser le sol et le préparer à la mise en culture;
- d) Possibilité de fixation d'un treuil pour le transport des troncs.

Pour les travaux d'ouverture de pistes, l'engin le plus approprié est le bulldozer à chenilles, ayant les caractéristiques suivantes : même équipement que pour le défrichage; lame en L à basculement hydraulique, treuil ou défonceuse, selon les conditions d'emploi.

IX. Équipement d'une scierie*

Le présent chapitre expose un cas concret pour le choix des machines et l'agencement d'une scierie de feuillus tropicaux.

Capacité de production

La capacité de production, c'est-à-dire le volume en m³ de bois débités, dépend de la nature des grumes (dimensions et qualité) et du produit fini que la scierie doit livrer. En conséquence, il faut établir certaines données de base pour faire une estimation réaliste de la capacité de production. Toutes autres conditions restant constantes, la vitesse de sciage des grumes avec une scie à ruban dépend de la qualité des lames et de leur entretien.

On prendra pour hypothèse qu'il s'agit de scier des grumes de 4 m de long et de 1,5 m de diamètre (soit environ 7 m³ par grume). Après avoir dressé une grume en sciant les dosses et trois à cinq planchettes à la périphérie, on la débite en planches de 50 mm d'épaisseur. Toutes les grumes ayant plus de 1 m de diamètre sont divisées en deux pour éviter que les planches médianes ne se fendent du fait des tensions internes.

On a calculé que la capacité horaire théorique, c'est-à-dire dans des conditions parfaitement régulières, est de 14 m³ de grumes. Ce chiffre est plutôt optimiste; en effet, le travail est généralement ralenti pour diverses raisons et le temps utile ne dépasse donc pas 80 % du temps disponible. Il faut tenir compte du fait que dans une installation hautement mécanisée, où les diverses phases du cycle de production sont étroitement liées, un petit problème en un point quelconque a des répercussions sur l'ensemble des opérations. En résumé, on peut dire qu'une scierie équipée d'une seule scie à grumes débite normalement 70-80 m³ par journée de travail de 8 heures.

Pour augmenter la production, il faut avoir deux scies à grumes; elles doivent avoir les mêmes dimensions, afin que les rubans soient interchangeables.

Si une bonne partie des grumes ont un diamètre inférieur à 1,5 m, on peut utiliser deux chariots différents; le plus petit, dont l'avance est plus rapide, servira aux petites grumes.

Les tableaux 1 et 2 donnent la ventilation détaillée du temps nécessaire pour le sciage des grumes, selon que l'on dispose de 1 scie à ruban (tableau 1) ou de 2 scies à ruban et d'une scie à dédoubler (ou à refendre) (tableau 2).

Opérations considérées pour calculer le temps de sciage d'une grume (tableau 2)

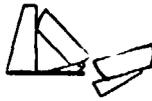
Les calculs sont faits pour une scierie disposant de deux scies à ruban et d'une scie à dédoubler (ou à refendre). La grume a 4 m de long et 1,5 m de diamètre. Les opérations se déroulent comme suit :

- a) Chargement de la grume sur le chariot, rotation et centrage;
- b) Positionnement et sciage d'une dosse;
- c) Sciage de deux planchettes;
- d) Trois retours du chariot;
- e) Déblocage des griffes, soulèvement et rotation de la grume pour placer le côté dressé sur les sabots; blocage des griffes et réglage des sabots;
- f) Positionnement et sciage de la dosse opposée à la première;

* Par G. Dalla Valle, expert-conseil en scierie. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/11.)

TABLEAU 1. SCIERIE AVEC UNE SEULE SCIE A GRUMES. VENTILATION DU TEMPS DE SCIAGE D'UNE GRUME

Dimensions de la grume : 4 m de long, 1,5 m de diamètre

Position de la grume	Opération	Épaisseur de coupe (m)	Vitesse d'avance (m/mn)	Temps unitaire (s)	Temps total (s)
	Chargement de la grume sur le chariot, rotation et centrage			30	30
	Positionnement et sciage d'une dosse	0,4	30	20	20
	Sciage de quatre planches	0,7	15	18	72
	Cinq retours du chariot		67	4	20
	Débloccage des griffes, soulèvement et rotation de la grume pour placer le côté dressé sur les sabots; blocage des griffes et réglage des sabots			60	60
	Positionnement et sciage de la dosse opposée	0,4	30	20	20
	Sciage de quatre planches	0,7	15	18	72
	Cinq retours du chariot		67	4	20
	Déplacement des sabots vers la lame pour diviser la grume en deux	1,5	12	40	40
	Déchargement d'une moitié de la grume; débloccage des griffes, positionnement de la partie restante, blocage des griffes; sciage de la dosse	0,25	35	95	95
	Sciage de quatre planches	0,35	30	9	45
	Cinq retours du chariot		67	4	20
	Sciage de 24 planches	0,6	18	15	360
	24 retours du chariot		67	4	96
	Débloccage des griffes, positionnement, blocage des griffes et axage de la pièce	0,25	35	20	20
	Sciage de quatre planches	0,35	30	9	36
	Quatre retours du chariot		67	4	16
	Débloccage des griffes, chargement de l'autre moitié de la grume, positionnement et blocage des griffes; retour du chariot, sciage de la dosse	0,25	35	70	70
	Sciage de quatre planches	0,35	30	9	36
	Cinq retours du chariot		67	4	20
	Sciage de 24 planches	0,6	18	15	360
	24 retours du chariot		67	4	96
	Débloccage des griffes, rotation et positionnement de la pièce	0,25	35	20	20
	Sciage de quatre planches	0,35	30	9	36
	Cinq retours du chariot		67	4	20
				Temps total (s)	1 700
				(environ 30 mn)	

Note. Capacité horaire de sciage : 14 m³. Les temps de sciage et de retour du chariot sont calculés pour un chariot de 4,5 m de long.

TABLEAU 2. SCIERIE A DEUX SCIES A GRUMES ET UNE SCIE A REFENDRE.
VENTILATION DU TEMPS DE SCIAGE D'UNE GRUME

Dimensions de la grume : 4 m de long et 1.5 m de diamètre

Position de la grume	Opération	Epaisseur de coupe (m)	Vitesse d'avance (m/mn)	Temps unitaire (s)	Temps total (s)	Nombre de planches à dédoubler
	Chargement de la grume sur le chariot, rotation et centrage				30	30
	Positionnement et sciage d'une dosse	0,4	30	20	20	
	Sciage de deux planchettes	0,7	15	18	36	2
	Trois retours du chariot			67	4	12
	Déblocage des griffes, soulèvement et rotation de la grume, blocage des griffes et réglage des sabots				60	60
	Positionnement et sciage de la dosse opposée	0,4	30	20	20	
	Sciage de deux planchettes	0,7	15	18	36	2
	Trois retours du chariot			67	4	12
	Déplacement des sabots vers la lame pour scier la grume en deux, positionnement et sciage	1,5	12	40	40	
	Déchargement d'une moitié de la grume, déblocage des griffes, positionnement et blocage des griffes, retour du chariot, axage de la pièce et sciage d'une dosse	0,25	35	95	95	
	Sciage de deux planchettes	0,35	30	9	18	2
	Trois retours du chariot			67	4	12
	Sciage de 12 planches (à dédoubler avec la scie à refendre)	0,6	18	15	180	12
	Douze retours du chariot			67	4	48
	Déblocage des griffes, positionnement de la pièce et blocage des griffes, axage et sciage de la dosse	0,25	35	20	20	
	Sciage de deux planchettes	0,35	30	9	18	2
	Deux retours du chariot			67	4	8
	Déblocage des griffes, chargement de l'autre moitié, positionnement et blocage des griffes, retour du chariot et sciage d'une dosse	0,25	35	70	70	
	Sciage de deux planchettes	0,35	30	9	18	2
	Trois retours du chariot			67	4	12
	Sciage de 12 planches (à dédoubler)	0,6	18	15	180	12
	Douze retours du chariot			67	4	48
	Déblocage des griffes, positionnement et blocage des griffes, axage et sciage d'une dosse	0,25	35	20	20	
	Sciage de deux planchettes	0,35	30	9	18	2
	Deux retours du chariot			67	4	12
					1 043	36

Note. $\frac{1\ 043}{60} = 17,38$ mn, soit 18 mn pour le sciage de la grume (temps réel). Capacité horaire de sciage : 23 m³ par scie à grumes.

- g) Sciage de deux planchettes;
- h) Trois retours du chariot;
- i) Déplacement des sabots vers la lame pour scier la grume en deux parties; sciage dans l'axe de la grume;
- j) Déchargement d'une moitié de la grume, déblocage des griffes, positionnement de la pièce restante, blocage des griffes; retour du chariot, axage de la pièce et sciage d'une dosse;
- k) Sciage de deux planchettes;
- l) Trois retours du chariot;
- m) Sciage de 12 planches, à refendre;
- n) Douze retours du chariot;
- o) Déblocage des griffes, positionnement de la partie dressée contre les sabots, blocage des griffes, axage de la pièce et sciage d'une dosse;
- p) Sciage de deux planchettes;
- q) Deux retours du chariot;
- r) Déblocage des grumes; chargement de l'autre moitié de la grume sur le chariot, positionnement et blocage des griffes; retour du chariot, sciage d'une dosse;
- s) Sciage de deux planchettes;
- t) Trois retours du chariot;
- u) Sciage de 12 planches, à refendre;
- v) Douze retours du chariot;
- w) Déblocage des griffes, positionnement de la partie dressée contre les sabots, blocage des griffes, axage de la pièce et sciage d'une dosse;
- x) Sciage de deux planchettes;
- y) Deux retours du chariot.

Une deuxième scie à grumes ne double certainement pas la production horaire (qui est calculée pour une scierie à deux scies à grumes dans le tableau 2); bien que les temps morts de chargement, rotation et déchargement soient les mêmes, c'est l'opération de sciage elle-même qui portera sur un volume moindre. En moyenne, la deuxième machine peut débiter 55-65 m³ par journée de travail de 8 heures.

Une scierie équipée de deux scies à grumes, à volants de 1.6 m de diamètre et chariots automatiques, peut débiter 125-145 m³ de grumes par journée de travail de 8 heures, à condition que toutes les conditions décrites ci-dessus soient satisfaites.

Si la scierie doit débiter la même espèce de bois à raison de plus de 120 m³ par journée de 8 heures, il est recommandé de l'équiper de deux scies à grumes et d'une scie à dédoubler. Au lieu d'un chariot à mouvement alternatif (avance et recul), la machine à dédoubler est équipée d'un mécanisme d'avance continue des planches vers la lame. En principe, cette solution permet de supprimer les temps morts de retour du chariot. Le bâti de la scie à dédoubler (ou à refendre) est muni d'un dispositif de tension de la lame et d'un dispositif télécommandé de montée et de descente du bras de guidage de la lame. Le système d'avance peut être constitué par deux équerres, aux extrémités de la table, munies de rouleaux, chaînes ou tapis d'entraînement.

Les deux équerres sont reliées entre elles mécaniquement ou électriquement, de sorte que leurs déplacements soient symétriques par rapport à la lame. Elles doivent serrer la planche à dédoubler de sorte que son avance soit parfaitement rectiligne. Les rouleaux d'entraînement sur les deux équerres doivent tourner en synchronisme; il est préférable de régler leur vitesse de rotation en continu, par télécommande, de sorte que l'opérateur puisse toujours adapter la vitesse d'avance aux dimensions et à la qualité du bois à refendre. La pression de fermeture des rouleaux est également ajustable. S'il y a de grandes différences d'épaisseur entre les planches à refendre, il vaut mieux équiper la machine d'une servo-commande pour le déplacement automatique des deux équerres. Si l'on prend la même hypothèse que précédemment, c'est-à-dire le débitage de grumes de 4 m de long et 1,5 m de diamètre, et si l'on applique la même technique de sciage, sauf que les planches sciées sur les scies à grumes seront deux fois plus épaisses et seront dédoublées sur la scie à refendre, les temps d'usinage seront ceux fournis par le tableau 2.

Chaque scie à grumes débite vers la scie à refendre 36 planches de 4 m de long toutes les 18 minutes. Par conséquent, la scie à refendre devra travailler à la vitesse moyenne théorique de :

$$\frac{36 \times 2 \times 4}{18} = 16 \text{ m/mn}$$

En pratique, la scie à refendre n'est pas alimentée de manière constante. De ce fait, pour qu'elle puisse dédoubler 288 m de planches toutes les 18 minutes, il faut que la vitesse d'avance soit d'au moins 20 m/mn.

Dans les conditions décrites ci-dessus, il faut que la scie à refendre ait un volant d'au moins 1,6 m de diamètre. La capacité théorique d'une scierie équipée de deux scies à grumes et d'une scie à refendre ayant toutes trois des volants de 1,6 m de diamètre est de 14 m³ toutes les 18 minutes, soit 46 m³ à l'heure. En réalité, étant donné la discontinuité du travail, une telle scierie peut débiter 230-250 m³ de grumes par journée de travail de 8 heures.

En résumé, il y a trois niveaux de production possibles :

- a) Scierie avec une seule scie à grumes. La capacité est de 70-80 m³ par journée de travail de 8 heures. Ceci correspond à 10-11 grumes de 4 m de long et 1,5 m de diamètre.
- b) Scierie avec deux scies à grumes. La capacité est de 125-145 m³ par journée de travail de 8 heures. Ceci correspond à 10-11 grumes de 4 m de long et 1,5 m de diamètre et 12-14 grumes de 4 m de long et 1,2 m de diamètre;
- c) Scierie avec deux scies à grumes et une scie à refendre. La capacité est de 230-260 m³ par journée de travail de 8 heures. Ceci correspond à 33-37 grumes de 4 m de long et 1,5 m de diamètre.

Scie à grumes et chariot

La scie à grumes est une scie verticale, à volants de 1,6 m, commandée par un moteur de 110 kW. Un motoréducteur électrique, monté sur le bâti, sert à mettre la lame sous tension sur les volants. Le positionnement de la lame sur les volants est télécommandé. Le soulèvement et la descente du bras supérieur de guidage de la lame sont également télécommandés.

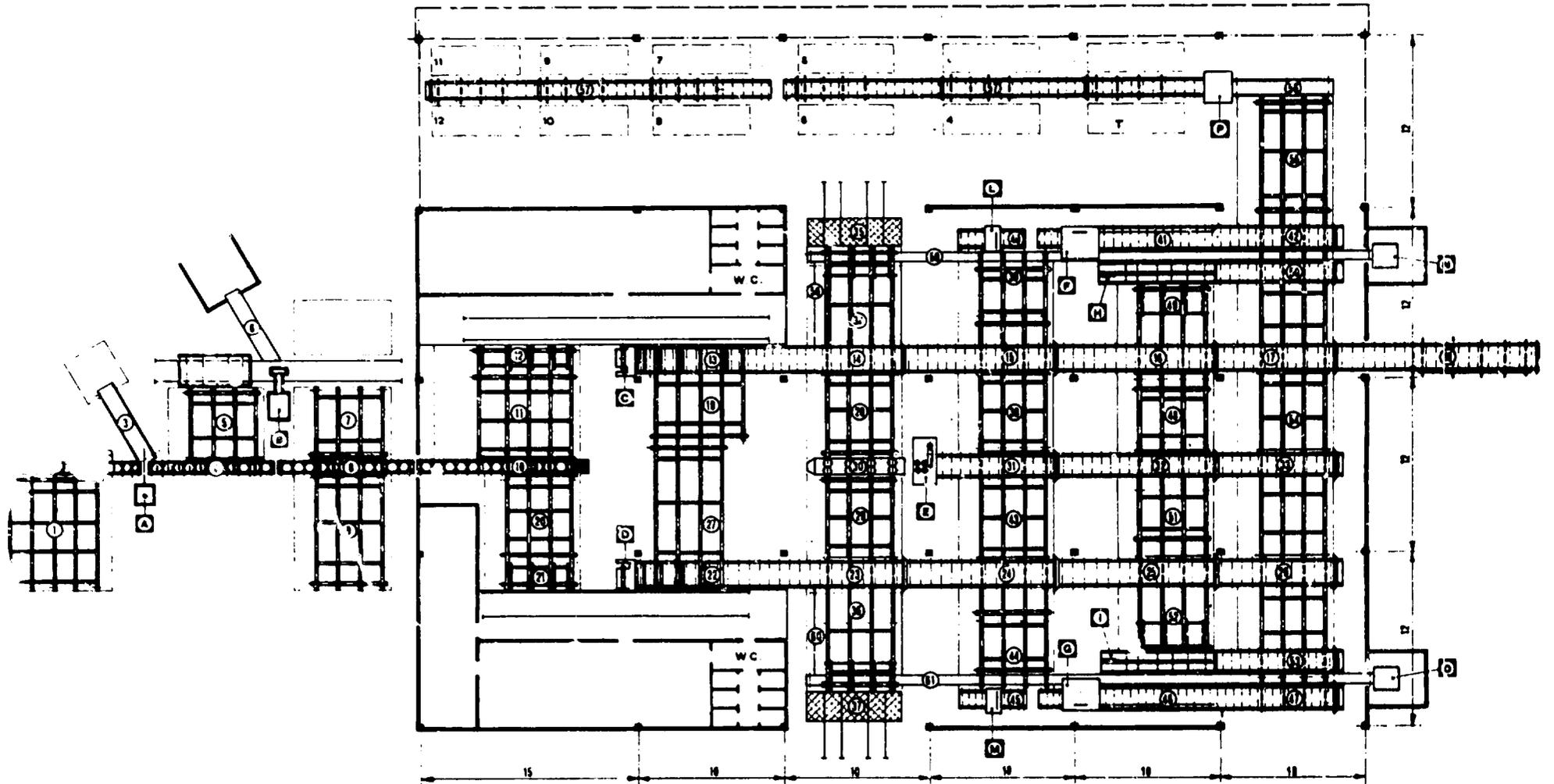
Le chariot est équipé de griffes pour maintenir la grume en position. La distance entre la lame et les sabots est de 1,6 m, ce qui permet au chariot de recevoir des grumes ayant jusqu'à 2 m de diamètre. La plupart des griffes sont réglables. Des griffes fixes sont montées sur la colonne du chariot pour positionner la grume de sorte que son axe soit parallèle à la direction d'avance du chariot. Les bras de soulèvement et de rotation des grumes peuvent être montés sur le chariot ou à l'extérieur; ils servent à positionner la grume et à la faire tourner après enlèvement de la première dosse. Le mouvement de toutes les griffes est commandé par un ou plusieurs moteurs électriques ou hydrauliques. Le chariot est muni d'un dispositif pour le recul rapide de la lame sur 10 mm environ pendant la course de retour; ceci évite que des éclats de bois ou défauts de la surface dressée puissent heurter le dos de la lame et la faire sortir des volants. Ce déplacement de la lame est annulé automatiquement lorsqu'on inverse le sens de marche du chariot. L'avance du chariot est à variation continue de vitesse, commandée par un motovariateur hydraulique ou électrique; on peut ainsi faire reculer le chariot à grande vitesse afin de réduire les temps morts. Tous les boutons-poussoirs de commande des divers organes de la scie et du chariot sont groupés sur un tableau monté près du poste de l'opérateur de la scie. Sur ce tableau, l'opérateur affiche l'épaisseur de la planche à scier, dans une plage continue de dimension, puis il commande l'approche des griffes; celles-ci s'arrêtent automatiquement après avoir parcouru une distance correspondant à la mesure affichée.

Agencement de la scierie

L'analyse ci-dessus a montré que la scie à ruban verticale, avec volants de 1,6 m de diamètre, est la machine qui convient le mieux au sciage de grosses grumes de bois tropicaux.

On trouvera ci-après plusieurs agencements possibles de la scierie. Les nombres et les lettres renvoient aux positions indiquées dans la figure. Dans le bâtiment même de la scierie, on trouve tout d'abord des transporteurs transversaux (postes 11 et 12), puis la scie et son chariot (C), puis le dispositif d'évacuation du bois débité et des déchets (postes 14, 34 et 35). Les dosses passent à la déligneuse double (F), puis à la tronçonneuse (L) (postes 15 et 39-42). Certaines planches doivent passer à la scie circulaire monolame à déligner (H) (postes 16, 49 et 50). Les planches finies passent ensuite par la ligne de triage (poste 17). Les planches de longueur supérieure à la longueur standard (poste 18) sont déchargées; des transporteurs transversaux évacuent les produits finis (postes 54 et 55).

Agencement d'une scierie



Note. Les chiffres et les lettres renvoient au texte ci-dessus

Si une scie à grumes verticale peut avoir une production théorique de 70-80 m³ par journée de 8 heures (voir l'exemple ci-dessus), il est évident qu'on peut augmenter la production en augmentant le nombre de scies. Une deuxième scie à grumes peut travailler indépendamment de la première, ou lui être reliée, de manière à permettre l'échange des bois à recycler, par les postes 13, 19, 22 et 27. Dans ce cas, en plus des machines et transporteurs mentionnés ci-dessus, il faut :

- Des transporteurs transversaux (postes 20 et 21)
- Une scie à ruban verticale (D)
- Des lignes de transport et d'évacuation des bois sciés (postes 22-27, 36, 37, 44-47, 52, 53 et une partie de 54)
- Une déligneuse double (G)
- Une scie circulaire monolame à déligner (I)

Cet ensemble de machines et de transporteurs fonctionne de la même manière que les machines et transporteurs décrits dans la première solution.

Il existe une troisième possibilité, qui consiste à ajouter à l'installation précédente une scie à dédoubler (E) et les transporteurs nécessaires (postes 28-30), plus des transporteurs vers les deux déligneuses doubles (postes 31, 38 et 43), des transporteurs vers les deux scies circulaires monolame à déligner (postes 32, 48 et 51) et un transporteur pour envoyer le bois vers la ligne d'évacuation (poste 33). La figure montre l'emplacement des deux scies à grumes, de la scie à dédoubler, des deux tronçonneuses, des deux déligneuses doubles et des deux scies circulaires monolame à déligner. Cet ensemble permet d'augmenter la capacité de production en assurant l'utilisation à plein temps des deux scies à grumes.

L'installation intérieure est complétée par des installations à l'extérieur du bâtiment. A l'entrée, les grumes arrivent par des transporteurs transversaux et longitudinaux, en passant par un poste de tronçonnage et un poste d'écorçage (postes 1-9, A et B). A la sortie, tout le bois passe par un poste de triage et un poste de brossage (postes 56, 57 et P); les déchets sont recueillis en deux points, avec machines à fragmenter et envoi des copeaux dans des silos spéciaux (postes 58-61, N et O). Si l'on ne veut pas fragmenter les copeaux et déchets, il suffit d'éliminer les transporteurs 59 et 60, ainsi que les machines à fragmenter, et d'installer des containers spéciaux aux quatre points de collecte.

Cette étude ne prétend pas résoudre le problème du sciage des grosses grumes de bois tropicaux; on a simplement exposé plusieurs solutions possibles, qui pourront aider les scieries à résoudre leurs problèmes spécifiques.

On trouvera ci-après une description qui est, en quelque sorte, la légende de la figure.

1. Transporteur transversal pour amener les grumes de la cour de stockage au poste de tronçonnage.
2. Transporteur à chaîne pour alimenter la scie à tronçonner.
3. Transporteur à bande pour évacuer les déchets de la scie à tronçonner vers le silo à déchets.
4. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec arrêts mécaniques, pour positionner les grumes avant le tronçonnage et dispositif de déchargement des grumes d'un côté pour écorçage.
5. Transporteur transversal vers la machine à écorcer.
6. Transporteur à bande pour évacuer les déchets de l'écorceuse vers le stockage des déchets.
7. Transporteur transversal pour amener les grumes écorcées vers l'entrée de la scierie.
8. Transporteur longitudinal à rouleaux.
9. Transporteur transversal pour les grumes provenant directement du chantier de bois.
10. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec double système de déchargement des grumes : à droite, grumes ayant jusqu'à 6,6 m de long; à gauche, grumes ayant jusqu'à 10 m de long.
11. Transporteur transversal vers le chariot de la scie à grumes.
12. Dispositif hydraulique de chargement des grumes sur le chariot de la scie.
13. Transporteur à rouleaux pour évacuer le bois débité par la scie à grumes. Il est muni d'un dispositif hydraulique pour le rechargement des bois à recycler.
14. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec double système de déchargement : à droite, vers la scie à refendre; à gauche, évacuation des planchettes et des déchets.
15. Transporteur longitudinal à rouleaux, pour les planches provenant de la scie à grumes, avec déchargement latéral des planches destinées à la déligneuse double.
16. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement latéral des planches destinées à la scie circulaire monolame à déligner.
17. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement latéral des planches provenant de la scie à grumes vers les chaînes d'alimentation du poste de triage.

18. Transporteur longitudinal à rouleaux, sortant du bâtiment de la scierie, avec dispositif d'évacuation des planches de plus de 6,6 m de long.
19. Transporteur transversal à chaîne, pour le dépôt temporaire des planches à rescier; il peut aussi servir à recharger le bois sur le chariot de la scie à grumes.
20. Transporteur transversal à chaîne vers le chariot de la scie à grumes.
21. Dispositif hydraulique de chargement des grumes sur le chariot de la scie à grumes.
22. Transporteur longitudinal à rouleaux, pour évacuer le bois débité par la scie à grumes. Il est muni d'un dispositif hydraulique pour le rechargement des bois à recycler.
23. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec double système de déchargement : à droite, vers la scie à refendre; à gauche, évacuation des planchettes et des déchets.
24. Transporteur longitudinal à rouleaux, pour les planches provenant de la scie à grumes, avec déchargement latéral des planches destinées à la délignouse double.
25. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement latéral des planches destinées à la scie circulaire monolame à déligner.
26. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement latéral des planches provenant de la scie à grumes vers les chaînes d'alimentation du poste de triage.
27. Transporteur transversal à chaîne, pour le dépôt temporaire des planches à rescier; il peut aussi servir à recharger le bois sur le chariot de la scie à grumes.
28. Transporteur transversal à chaîne, du transporteur 14 vers la scie à refendre.
29. Transporteur transversal à chaîne, du transporteur 23 vers la scie à refendre.
30. Transporteur longitudinal à rouleaux verticaux, avec système d'introduction automatique des planches entre les rouleaux de la scie à refendre.
31. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec dispositif de déchargement bilatéral vers les deux déligneuses doubles.
32. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec système de déchargement bilatéral vers les deux scies circulaires monolame à déligner.
33. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec dispositif de déchargement latéral vers les postes de triage.
34. Transporteur transversal à chaîne, pour les bois ne devant pas être envoyés au poste de triage; il est équipé d'un système de retournement des planches.
35. Plate-forme, à hauteur réglable, pour la mise en paquets des bois qui ne doivent pas être envoyés au triage; la plate-forme se déplace sur rails.
36. Transporteur transversal à chaîne, pour les bois ne devant pas être envoyés au poste de triage; il est équipé d'un système de retournement des planches.
37. Plate-forme, à hauteur réglable, pour la mise en paquets des bois qui ne doivent pas être envoyés au triage; la plate-forme se déplace sur rails.
38. Transporteur transversal à chaîne, vers la délignouse double.
39. Transporteur transversal à chaîne, vers la tronçonneuse et la délignouse double.
40. Transporteur longitudinal à rouleaux, pour supporter le bois lors du tronçonnage et pour alimenter la délignouse double.
41. Transporteur longitudinal à rouleaux, à la sortie de la délignouse double, avec séparateur automatique des rebuts de la délignouse.
42. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement latéral sur les transporteurs vers le poste de triage.
43. Transporteur transversal à chaîne, vers la délignouse double.
44. Transporteur transversal à chaîne, vers la tronçonneuse et la délignouse double.
45. Transporteur longitudinal à rouleaux, pour supporter le bois lors du tronçonnage et pour alimenter la délignouse double.
46. Transporteur longitudinal à rouleaux, à la sortie de la délignouse double, avec séparateur automatique des rebuts de la délignouse.
47. Transporteur longitudinal à rouleaux, avec déchargement bilatéral : à gauche, sur les transporteurs vers le poste de triage; à droite, vers l'extérieur, du bois n'exigeant pas de triage (planchettes, chevrons, etc.).
48. Transporteur transversal à chaîne, vers la scie circulaire monolame à déligner.
49. Transporteur transversal à chaîne, vers la délignouse, équipé d'un système pneumatique de retournement des planches pour que l'opérateur puisse contrôler les deux faces.

50. Transporteur transversal à rouleaux, avec déchargement latéral sur les transporteurs vers le poste de triage.
 51. Transporteur transversal à chaîne, vers la scie circulaire monolame à déligner.
 52. Transporteur transversal à chaîne, vers la déligneuse, équipé d'un système pneumatique de retournement des planches pour que l'opérateur puisse contrôler les deux faces.
 53. Transporteur transversal à rouleaux, avec déchargement latéral sur les transporteurs vers le poste de triage.
 54. Transporteur transversal à chaîne, pour la collecte des bois provenant des scies à grumes, des déligneuses doubles, des déligneuses monolame et de la machine à refendre, et leur transport vers les postes de triage.
 55. Transporteur transversal à chaîne, vers le transporteur 56.
 56. Transporteur longitudinal à bande, alimentant la ligne de triage général.
 57. Transporteur longitudinal, avec six dispositifs d'expulsion, pour le transport et le déchargement automatique des bois dans les silos en fonction de l'épaisseur et de la longueur des planches débitées dans la scierie.
 58. Transporteur transversal à bande, pour l'évacuation des déchets et rebuts de la scie à grumes sur un transporteur longitudinal à courroies.
 59. Transporteur longitudinal à courroies, pour l'évacuation des déchets et rebuts des diverses machines vers une machine à fragmenter.
 60. Transporteur transversal à bande, pour l'évacuation des déchets et rebuts de la scie à grumes sur un transporteur longitudinal à courroies.
 61. Transporteur longitudinal à courroies, pour l'évacuation des déchets et rebuts des diverses machines vers une machine à fragmenter.
- A. Tronçonneuse pour la coupe transversale et la coupe en bout des grumes. Après tronçonnage, la grume est envoyée à la machine à écorcer ou directement dans la scierie.
 - B. Écorceuse à outil rotatif et chariot mobile sur rails. Il existe également des écorceuses à rotor, mais elles ne peuvent servir que pour des grumes de diamètre relativement petits et ne conviennent donc pas à l'écorçage des grumes de bois tropicaux. Après tronçonnage et écorçage, les grumes sont stockées temporairement dans le chantier à bois, ou transportées dans la scierie. Les grumes temporairement stockées dans le chantier peuvent être envoyées dans la scierie par le transporteur 9.
 - C. Scie à grumes verticale, avec volants de 1,6 m. Les grumes chargées sur le chariot de la scie proviennent du tronçonnage, de l'écorçage ou directement du chantier. La scie à grumes débite des planches à envoyer à la scie à refendre, à la déligneuse double ou à la scie circulaire monolame à déligner, ainsi que des planches qui n'exigent pas d'autre usinage et sont envoyées directement au poste de triage. Les planches de plus de 6,6 m de long et les rebuts sont transportés hors du bâtiment de la scierie (transporteur 18). Cette scie peut également diviser les grumes en deux moitiés. Elle débite également des pièces à recycler ou à transporter (19 et 27) à la seconde scie à grumes pour un nouvel usinage.
 - D. Scie à grumes verticale, avec volants de 1,6 m. Les grumes chargées sur le chariot de la scie proviennent du tronçonnage, de l'écorçage ou directement du chantier. La scie à grumes débite des planches à envoyer à la scie à refendre, à la déligneuse double ou à la scie circulaire monolame à déligner, ainsi que des planches qui n'exigent pas d'autre usinage et sont envoyées directement au poste de triage. Cette scie peut également diviser les grumes en deux moitiés. Elle débite également des pièces à recycler ou à transporter (19 et 27) à la seconde scie à grumes pour un nouvel usinage.
 - E. Machine à refendre, avec volants de 1,6 m. Cette machine reçoit des planches des deux scies à grumes, les dédouble et les envoie aux machines à tronçonner et à déligner. Les planches présentant des défauts longitudinaux centraux sont envoyées à la scie circulaire monolame à déligner; les planches n'exigeant pas d'autre usinage sont envoyées au poste de triage.
 - F et G. Déligneuses doubles. Elles reçoivent des planches provenant des deux scies à grumes et de la scie à refendre. Elles débitent des planches finies, à envoyer vers le poste de triage. Les déchets sont évacués automatiquement.

- H et I. Scies circulaires monolame à déligner, avec chaîne de centrage, évacuation latérale des rebuts et évacuation frontale des produits finis. Elles reçoivent des planches des deux scies à grumes et, éventuellement, de la scie à refendre. Les produits finis sont envoyés au poste de triage; les rebuts sont évacués automatiquement.
- L et M. Scies circulaires pour coupe transversale. Les planches provenant des scies à grumes et, éventuellement, de la scie à refendre doivent parfois être tronçonnées avant de passer dans la déligneuse double.
- N et O. Machines à fragmenter. Elles reçoivent les rebuts des scies à grumes, des tronçonneuses et des déligneuses. Les copeaux sont évacués vers les silos par un aspirateur.
- P. Machine à broser pour le nettoyage des produits finis.

X. Séchage du bois débité*

Pourquoi sécher le bois ?

Il faut sécher le bois pour l'empêcher de se déformer. En effet, le bois vert débité sèche selon un processus naturel et, au cours de ce processus, il subit un retrait différent dans chacune des trois directions (longitudinale, radiale, transversale), ce qui provoque une déformation. En outre, le bois étant une matière hétérogène et anisotrope, les diverses parties du bois sèchent et se rétractent à des vitesses différentes, ce qui est également une cause de déformation. Le processus de séchage naturel et les déformations qui en résultent continuent très longtemps. Le bois non séché continue de perdre de l'eau et de subir un retrait jusqu'à ce que son humidité soit en équilibre avec l'humidité relative et la température de l'air ambiant. Ce processus peut être très long et se traduire par un gauchissement et un retrait inacceptables. En séchant le bois, on peut amener son humidité à la teneur souhaitée. Par la suite, ses dimensions changeront moins lorsqu'il sera soumis à des variations de l'humidité ambiante. En d'autres termes, le retrait d'un bois séché sera moindre que celui d'un bois qui n'a pas été séché. L'humidité d'équilibre du bois dépend de l'humidité relative et de la température de l'air ambiant. Le tableau 1 montre ce rapport pour plusieurs espèces de bois. On pourra constater que l'humidité d'équilibre du bois varie dans le même sens que l'humidité relative de l'air.

Cependant, les processus de perte et d'absorption d'humidité ne sont pas parfaitement réversibles. A une pression atmosphérique donnée, le bois absorbe ou perd de l'eau pour atteindre l'état d'équilibre avec l'air ambiant : on obtient une humidité du bois plus basse dans le premier cas que dans le second. Ce phénomène, appelé hystérésis, se traduit par une différence entre les deux processus de 2-4 % de l'humidité du bois. En même temps que ce phénomène, on constate que la vitesse d'absorption d'eau par le bois est bien inférieure à la vitesse de séchage.

Le bois gonfle quand son humidité hygroscopique augmente; il se rétracte quand elle diminue. Le retrait n'est pas uniforme dans toutes les directions; en fait, le rapport entre les trois retraits principaux est à peu près le suivant :

$$a_l : a_r : a_t = 1 : 10 : 20$$

où a_l est le retrait longitudinal,

a_r est le retrait radial et

a_t est le retrait tangentiel.

Le tableau 1 montre également la différence entre le retrait radial et le retrait tangentiel.

L'essor des techniques modernes de séchage du bois est dû essentiellement aux connaissances nouvelles sur sa nature physique et les processus de séchage.

La teneur en eau du bois est exprimée en pourcentage et définie par le rapport $\frac{\text{poids de l'eau}}{\text{poids du bois anhydre}} \times 100$. Dans les conifères le duramen est généralement assez peu humide (31-35 %), tandis que l'aubier est très humide (120-160 %). Font exception : le pin strobus, dont le duramen a 80 % d'humidité, et le sapin blanc, dont le duramen « mouillé » atteint 220 % d'humidité.

* Par R. Cividini, professeur de technologie du bois. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/18.)

TABLEAU 1. HUMIDITES D'EQUILIBRE BOIS-AIR; RETRAIT ET GONFLEMENT
POUR UNE HUMIDITE DE 70-90 %

Espèces	Humidité d'équilibre à l'humidité relative de l'air de		Retrait-gonflement (%)			
	90 %	60 %	Tangentiel		Radial	
			Entre 60 et 90 % d'humidité	Pour 1 % d'humidité	Entre 60 et 90 % d'humidité	Pour 1 % d'humidité
Obeché (wawa)	19	12	1,25	0,18	0,8	0,12
Afrormosia	15	11	1,3	0,32	0,7	0,17
Erable	23	13,5	2,8	0,29	1,4	0,15
Bouleau	21,5	12	2,5	0,26	2,2	0,23
Hêtre	20	12	3,2	0,40	1,7	0,21
Chêne (Europe)	20	12	2,5	0,31	1,5	0,19
Frêne	20	12,5	1,8	0,24	1,3	0,17
Iroko	15	11	1,0	0,25	0,5	0,12
Cerisier	19	12,5	2,0	0,31	1,2	0,18
Mélèze (Europe)	19	13	1,7	0,28	0,8	0,13
Limba	18	12	1,3	0,22	1,0	0,17
Khaya grandif.	23	14	1,9	0,21	1,5	0,17
Khaya ivorensis	20	13,5	1,5	0,23	0,9	0,14
Acajou (Swietenia)	19	12,5	1,3	0,20	1,0	0,15
Makoré	19	13	1,8	0,30	1,1	0,18
Bété	20	12	2,3	0,29	1,3	0,16
Noyer africain	18	13	1,3	0,26	0,9	0,12
Noyer européen	18,5	11,5	2,0	0,29	1,6	0,23
Chêne rouge	18,5	11,5	2,4	0,34	1,3	0,19
Orme	22	13	2,4	0,27	1,5	0,17
Sapelli	20,5	13,5	1,8	0,26	1,3	0,19
Teck	15	10	1,3	0,26	0,8	0,16
Wengé	15	11,5	0,9	0,26	0,65	0,19
Abura		11,5		0,20		0,08
Sipo				0,20		0,15
Kossipo		15		0,18		0,13

Chez les latifoliés, la différence entre l'humidité de l'aubier et celle du duramen est moins prononcée. D'une manière générale, l'humidité croît au fur et à mesure que l'on va vers la cime de l'arbre, car l'aubier y prédomine. L'humidité décroît avec l'âge; une forêt jeune aura donc un bois plus humide qu'une forêt vieille et une forêt en gestion sera plus humide qu'une forêt équienne.

Une partie de l'eau contenue dans le bois se trouve dans les cavités cellulaires et intercellulaires à l'état libre (eau libre); l'autre se trouve liée dans les parois cellulaires (humidité hygroscopique). L'humidité hygroscopique représente de 30 à 38 % du poids de la matière ligneuse sèche; c'est le point de saturation des parois cellulaires.

Dans un milieu où l'humidité relative est inférieure à 100 %, (air non saturé), l'eau libre du bois est sujette à évaporation. Pour ce qui est de l'eau liée aux parois cellulaires, on peut considérer le bois

comme un corps hygroscopique, permettant des échanges d'humidité avec le milieu (air). Le retrait des parois cellulaires commence lorsque l'humidité est inférieure au point de saturation (30-38 %).

Le retrait du bois commence quand l'humidité moyenne dépasse encore 30 %, parce que les couches externes amorcent la perte de leur humidité de saturation, alors que les couches internes sont encore très humides.

Le retrait commence à une humidité moyenne qui dépend, en pratique, de la perméabilité, de l'épaisseur, de l'humidité initiale, de l'intensité du séchage et des résistances mécaniques (plasticité, traction et compression).

Le retrait augmente avec la densité du bois. Le bois de printemps se rétracte moins que le bois tardif. Le duramen se rétracte moins que l'aubier. Les déformations et les fendillements du bois sont dus à son caractère non homogène et à son anisotropie. Les produits finis en bois auront tendance à s'acclimater au milieu dans lequel ils se trouvent; il convient donc de les amener à un taux d'humidité en équilibre avec les conditions climatiques locales. A titre d'indication, le tableau 2 donne des valeurs applicables en Italie.

TABLEAU 2. HUMIDITE FINALE DU BOIS RECOMMANDEE POUR DIVERS PRODUITS^a

<i>Produit</i>	<i>Humidité finale (%)</i>
Bois débité commercial	16-20
Bois pour la construction de bâtiments	12-18
Bois pour baraques	12-15
Panneaux (contre-plaqués, de particules, etc.), placages	6-8
Placages commerciaux	12-16
Ames de panneaux	6-7
Menuiseries extérieures	12-15
Menuiseries intérieures	8-10
Parquet et lambris	6-8
Meubles d'intérieur et mobilier en général	6-10
Meubles pour l'extérieur et ustensiles (jardin, etc.)	12-16
Carrosseries et machines agricoles	12-18
Carrosseries d'automobiles	7-10
Wagons de chemins de fer (intérieur)	6-8
Constructions aériennes	6-10
Constructions navales	12-16
Equipements sportifs	8-12
Jouets pour l'intérieur	6-10
Jouets pour l'extérieur	10-15
Formes en bois	6-9
Crosses de fusils	7-12
Appareils électriques	5-8
Instruments de musique	5-8
Moules	6-8
Cadres	6-10
Tonneaux et caisserie	12-16

^a Dans les conditions climatiques de l'Italie.

Le bois qui a été séché garde une humidité d'équilibre dans les limites déterminées par le phénomène d'hystérésis. Si l'humidité relative de l'air varie dans les 2-4 % d'hystérésis, l'humidité du bois reste constante. En raison de l'inertie hygroscopique du bois, il n'y aura pas de variation dans l'humidité du bois, même si des changements épisodiques de l'humidité de l'air devaient s'effectuer hors des limites précitées. Le bois absorbe l'humidité plus lentement qu'il ne sèche. Le gonflement du bois peut aussi être retardé par l'application de peintures, vernis et autres produits chimiques.

La perméabilité du bois est le facteur le plus important dans le processus de séchage. La perméabilité dans le sens radial est sensiblement plus grande que dans le sens tangentiel; c'est la raison pour laquelle les planches sciées latéralement séchent bien plus rapidement que les planches sciées radialement. La perméabilité dans le sens radial augmente avec le nombre de cerne.

L'importance et la fréquence des rayons du bois sont malheureusement à l'origine de la diminution de la résistance à la traction transversale, dont le résultat est le fendillement. Le sapin rouge et l'aubier de tous les bois peuvent être considérés comme perméables; par contre, le sapin blanc et le duramen d'autres conifères peuvent être considérés comme moyennement perméables. Parmi les latifoliés, les plus perméables sont les bois à porosité diffuse, tandis que les bois thyllés sont nettement imperméables. Les bois blancs légers sont perméables. En général, la perméabilité est fonction de la densité.

Le séchage du bois se fait en trois phases. La première phase est l'évaporation de l'eau libre. La diffusion de vapeur d'eau et la capillarité provoquent un gradient d'humidité; le taux d'humidité varie généralement comme le carré de la distance à partir de la surface. Ce phénomène varie avec la perméabilité du bois. Pour les bois imperméables ou moyennement perméables, la diffusion de vapeur et la capillarité ne sont pas très importantes dans le processus de séchage. La diffusion de l'humidité à travers les parois cellulaires est plus importante. Dans ce cas, la variation du taux d'humidité avec la profondeur dans le bois accuse une courbe plus brusque. La relation selon laquelle le taux d'humidité varie à peu près comme le carré de la distance à partir de la surface se vérifie lorsque l'équilibre est obtenu entre les couches extérieures et l'air ambiant. Dans cette première phase, la résistance mécanique est minimale et les températures élevées sont dangereuses. L'arrivée au taux de saturation des parois cellulaires dans les couches périphériques marque le début du retrait et l'apparition des tensions de traction. Ceci est plus marqué dans les couches périphériques des bois à perméabilité moyenne et les bois imperméables. C'est le premier point critique, qui marque la fin de la première phase. La deuxième phase est marquée par un ralentissement du séchage. Au premier point critique, l'humidité moyenne du bois est d'environ les deux tiers de l'humidité initiale plus 10 %, dans les bois perméables et elle est comprise entre les deux tiers et les trois quarts de l'humidité initiale dans les bois moyennement perméables.

Une fois atteinte une humidité moyenne de 21-24 %, le séchage entre dans la troisième phase: il y a inversion des tensions (tension au centre) et les couches externes sont en équilibre avec l'air ambiant. La résistance mécanique du bois augmente au cours de cette phase. Le séchage se ralentit encore, parce que la diffusion à travers les parois cellulaires -- qui est un processus lent -- est prédominante.

Le séchage est d'autant plus rapide que la perméabilité est élevée, que la densité est basse, que la température est élevée, que l'humidité relative de l'air est faible et que la circulation d'air est rapide. La vitesse de circulation d'air n'est pas importante durant la troisième phase.

Techniques de séchage du bois

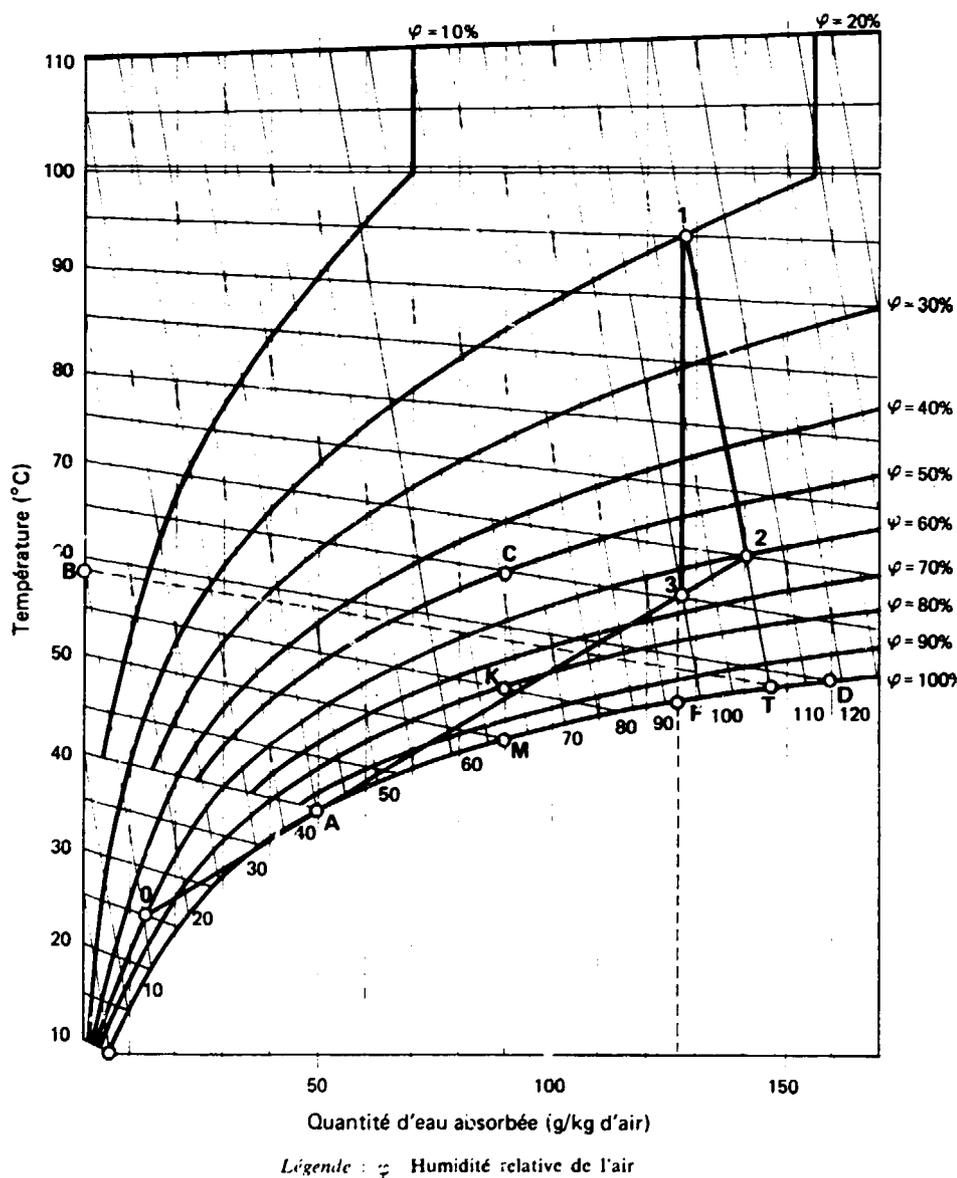
Séchage à l'air

On peut faire varier la température et l'humidité de l'air utilisé pour le séchage de manière à satisfaire les exigences techniques du processus. La figure 1 est un diagramme qui montre la relation entre la température de l'air et la quantité d'eau (exprimée en grammes) absorbée par kg d'air. Cette figure montre également le cycle thermodynamique du processus du séchage à l'air. L'air qui pénètre dans la pile de bois a la température et l'humidité représentées par le point 1 : température (T) = 95 °C; humidité (x) = 129 g/kg. Dans la pile de bois, l'air se refroidit et absorbe de l'humidité; il sort de la pile au point 2 : T = 70 °C; x = 141 g/kg. Cet air refroidi et humidifié doit être séché, puis réchauffé, avant de pouvoir être recyclé. On le sèche par échanges partiels avec l'air extérieur. On supposera que l'air extérieur a une température initiale T_0 = 25 °C et une humidité relative φ = 60 %, conditions représentées sur le diagramme par le point 0. On laisse pénétrer suffisamment d'air extérieur pour que

le mélange atteint les caractéristiques du point 3, c'est-à-dire pour que l'humidité (x) du mélange soit égale à 129 g/kg.

Ce faisant, la température de l'air est tombée à 66 °C (point 3 sur le diagramme). Pour retrouver les conditions du point 1, le mélange doit être chauffé. L'ensemble du cycle est représenté sur le diagramme par le triangle 1-2-3, que l'on appelle « triangle de séchage ».

Figure 1. Quantité d'eau absorbée en fonction de la température de l'air



Une autre manière de recycler l'air est la condensation partielle de la vapeur de l'air humide. Pour ce faire, l'air sortant de la pile de bois doit être refroidi au-dessous de son point de rosée. A partir du point 2 du diagramme, le processus suit la verticale $x = 141$ jusqu'à ce qu'on atteigne la courbe $\varphi = 100\%$. Le processus de refroidissement suit alors cette courbe jusqu'à ce que l'on atteigne l'humidité absolue $x = 129$ g/kg (point F, avec la température de 57 °C). A ce point, l'air est chauffé à 95 °C; le processus suit la droite $x = 129$ g/kg (jusqu'au point 1). La chaleur requise pour le recyclage de l'air est de 25 cal/kg. Il faut moins de chaleur pour le recyclage partiel de l'air, c'est-à-dire la méthode du « triangle de séchage ».

Séchage à la vapeur

A la pression atmosphérique normale, l'équilibre hygroscopique du bois dans la vapeur saturée est obtenu à quelques pour cent au-dessous du point de saturation des parois cellulaires. En conséquence, la vapeur surchauffée absorbe de l'humidité et sèche le bois. Pendant le processus, la température du bois s'élève.

Séchage sous vide

Des recherches sont en cours pour appliquer la technologie du vide au séchage du bois. Des techniques sous vide pourront être prochainement appliquées au séchage de bois particulièrement sensibles aux températures élevées. On peut effectuer le séchage sous vide par évaporation de l'eau, mais aussi par sublimation de la glace; la température de travail est de -30°C et le vide doit être très poussé (0,2-2,0 mm de mercure).

Séchage par courant de haute fréquence

Le bois étant fortement diélectrique, on peut utiliser des courants à haute fréquence comme source de chaleur dans les traitements hygrothermiques; on applique actuellement des fréquences de 2 à 40 MHz, mais des essais ont été entrepris récemment avec des fréquences supérieures à 900 MHz.

Séchage par infrarouges

On peut utiliser des rayons infrarouges de 1-2 μ pour le séchage du bois. Cette technique est très efficace. Cependant, en raison de la faible profondeur de pénétration des infrarouges à l'intérieur du bois (4-5 mm), les résultats sont similaires à ceux du chauffage par convection ou par contact.

Séchage avec des liquides

Le bois peut être séché par immersion dans des liquides hydrophobes dont la température d'ébullition est plus élevée que celle de l'eau : paraffine, cérésine, huiles à forte viscosité, etc. Ces substances sont généralement solides à la température ambiante, mais se liquéfient au-dessus de 50°C ; les points d'ébullition sont aux environs de 250°C . Elles ne sont pas toxiques et leur masse volumique est voisine de 0,9.

Une autre technique de séchage est l'immersion du bois dans un mélange azéotrope contenant de l'eau, dont le point d'ébullition est inférieur à 100°C . Si l'eau du mélange est évaporée, le bois immergé cède une partie de son eau au mélange.

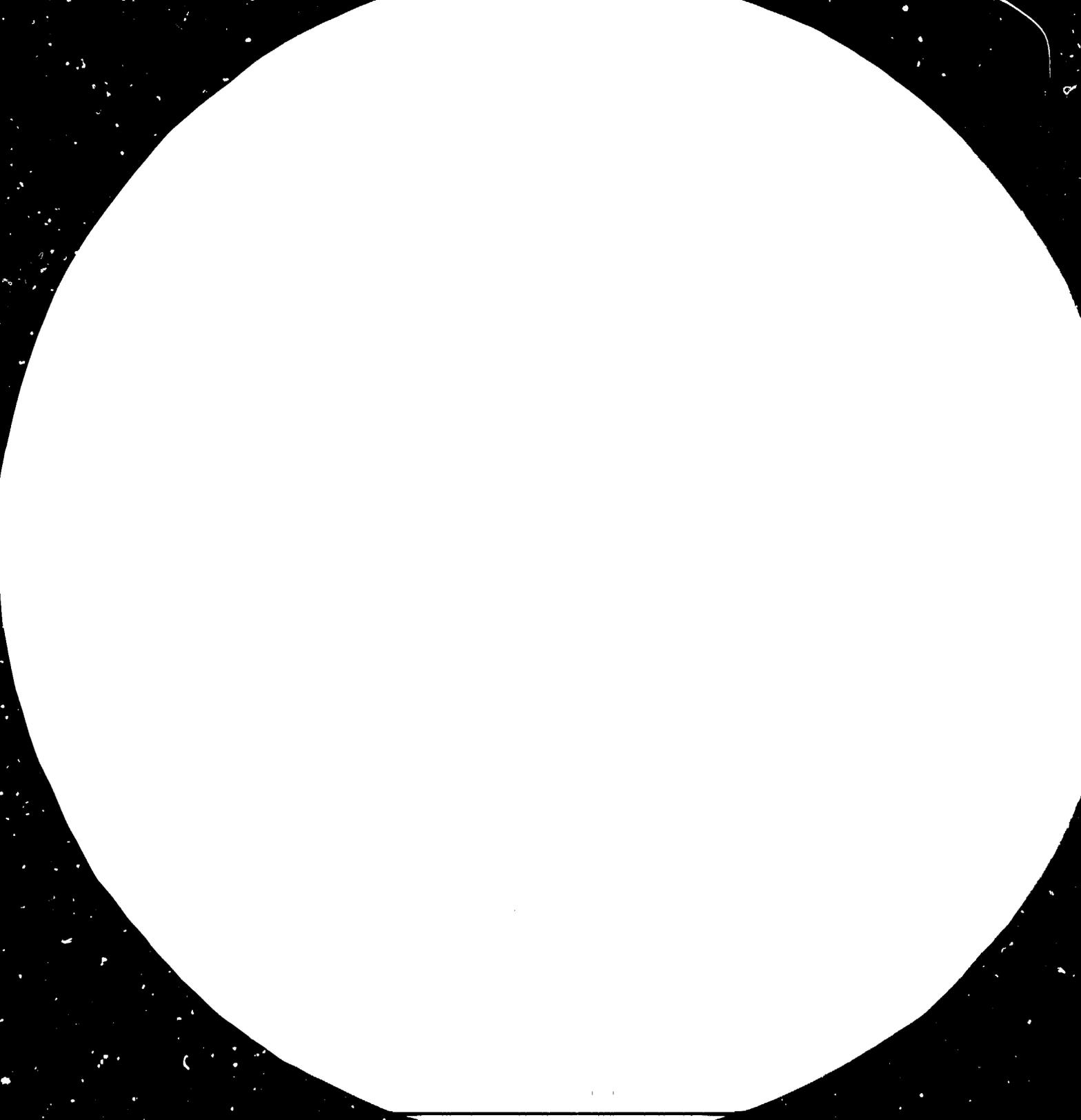
Une autre technique consiste à utiliser des solvants organiques polaires solubles dans l'eau, tels que l'acétone, les alcools et l'éther; ils ont l'avantage de dissoudre et d'éliminer, en même temps que l'eau, les extraits du bois. Après extraction, les solvants sont redistillés.

Séchage par solvants organiques volatils

On utilise des solvants organiques insolubles dans l'eau, tels que le xylol, le toluol, etc., dont le point d'ébullition est bas; la chaleur d'évaporation de ces solvants est inférieure à celle de l'eau et les coefficients de transmission de la chaleur sont très élevés. Au contact des parois cellulaires du bois, le solvant volatil provoque l'évaporation de l'eau.

Séchage en solution saline

Le bois peut être séché par immersion dans des solutions salines. Dans une solution saline saturée, la pression de la vapeur est inférieure à celle de la vapeur d'eau; c'est pourquoi l'eau est exsudée du bois vers la solution. Des sels ou des composés hygroscopiques, tels que le sel de cuisine, l'urée,





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

la mélasse ou sucre inverti, le polyéthylène-glycol, etc., sont utilisés dans des solutions à deux ou même à trois composants pour atteindre d'autres objectifs en même temps que le séchage du bois, en particulier pour diminuer l'hygroscopicité du bois et accroître sa stabilité dimensionnelle.

Séchage par vieillissement naturel

Le but principal du vieillissement naturel est de faire tomber l'humidité à 18-20 %, afin de protéger le bois contre les attaques des micro-organismes et des insectes. L'humidité minimale à laquelle on peut arriver par vieillissement naturel dépend des conditions locales, notamment du micro-climat. En Italie, par exemple, l'humidité minimale peut varier de 8 à 20 %. C'est des saisons qu'elle dépend le plus; l'humidité d'un bois déjà vieilli, laissé en plein air, varie au cours de l'année selon les changements de temps.

Pour permettre leur vieillissement, les bois débités sont généralement placés sur des aires non couvertes. Il faut aménager des enceintes de séparation et des couloirs pour faciliter la manutention. Le terrain doit être damé, sec et exempt de matières organiques. Le volume et le nombre des piles de bois dépendent du système de transport et des conditions climatiques : plus l'endroit est ventilé et sec, plus larges peuvent être les piles (jusqu'à 4 m); la distance entre les piles doit être de 0,75 à 2 m. Il faut étudier cas par cas l'orientation des planches par rapport au vent dominant.

Immédiatement après le sciage, les bois débités doivent être brossés, traités avec des insecticides et lattés en paquets. Les piles doivent toujours être couvertes et les essences précieuses doivent être protégées aux deux extrémités. La base des piles doit reposer sur des traverses en bois ou en béton, afin que les premières planches soient au moins à 30 cm au-dessus du sol.

La couverture des piles doit être en pente, afin de ne pas entraver la circulation de l'air et de protéger les planches contre les précipitations et le soleil. Les piles trop exposées au soleil doivent être protégées sur les côtés avec des planches, des roseaux, etc. A l'intérieur des piles, les planches doivent être espacées entre elles en fonction de l'humidité ambiante; éventuellement, il faut ménager une cheminée verticale au milieu de la pile.

Les piles peuvent atteindre jusqu'à 7 m de haut, mais la hauteur normale est de 4,5-5 m. Chaque pile doit être composée d'un matériau uniforme quant à l'espèce ligneuse, l'épaisseur et l'humidité initiale.

Les essences précieuses sont vieillies dans des hangars ou sous des auvents fixes, équipés d'ouvertures réglables pour faciliter la circulation de l'air.

Il y a plusieurs méthodes pour faciliter le vieillissement : disposer les planches debout (prévieillissement des espèces très humides ou de couleur altérable : bouleau, érable, peuplier); assurer une centrifugation, combinée éventuellement avec la gravité; assurer une ventilation forcée; utiliser l'énergie solaire. Ces méthodes ne sont appliquées que dans des cas particuliers, car leur intérêt est douteux du point de vue économique.

La capacité de stockage pour le vieillissement est très variable; elle dépend de très nombreux facteurs d'empilage. Pour des planches normales et des piles de 5 m de haut, elle varie généralement de 0,5 à 1 m³/m².

Séchage artificiel

Le séchage artificiel a pris une importance vitale pour le commerce et l'industrie du bois. Il faut appliquer des méthodes modernes pour abrégé le temps de séchage et rendre toute l'opération plus économique; il faut également le faire pour minimiser les dommages que peut subir le bois quand on recourt à des procédés périmés. Le séchage artificiel diffère du vieillissement naturel en ce sens que l'on peut contrôler les conditions de séchage au point de faire varier à volonté l'humidité du bois. On expose ci-après les procédés de séchage artificiel qui sont actuellement les plus utilisés dans l'industrie du bois et les plus justifiés du point de vue économique.

Séchage avec recyclage partiel d'air

Procédé

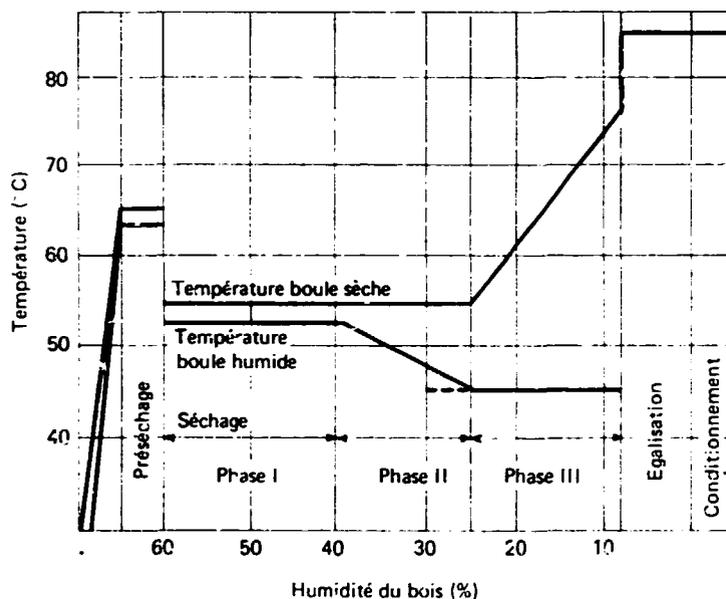
L'air circule entre les couches horizontales espacées de planches et il est introduit de nouveau dans la cellule de séchage à l'aide de ventilateurs. Dans ce cas, l'air est à la fois un moyen de séchage (par

évaporation) et un moyen de chauffage (par convection). Cet air est ainsi humidifié et refroidi; il faut le reconditionner en le chauffant et en le recyclant partiellement avec de l'air extérieur. Ce procédé de séchage consiste en un traitement préparatoire (préchauffage), le séchage proprement dit et des traitements additionnels.

Pour obtenir un séchage efficace d'une charge de bois, il faut respecter certaines conditions initiales : les planches doivent être uniformes quant à la densité, l'épaisseur et l'humidité initiale; toutes les planches doivent provenir de la même partie de l'arbre; il ne doit y avoir ni croûte ni tensions internes; la température doit être uniforme en épaisseur.

S'il s'agit de bois verts, le préchauffage est fait avec de l'air dont l'humidité relative est d'au moins 90 %. Si le bois a déjà vieilli, il faut augmenter la température de 10-15 °C. La durée du préchauffage, en heures, est égale à l'épaisseur des planches, en cm; pendant la première moitié de ce temps, la température est augmentée progressivement; pendant la deuxième moitié, la température reste constante (figure 2).

Figure 2. Température en fonction de l'humidité du bois (séchage normal)



Le choix des conditions de séchage est régi par l'épaisseur et la densité du bois, ainsi que par la teneur en extraits et substances diverses; plus ces valeurs sont grandes et plus la température doit être basse et l'humidité relative de l'air doit être élevée.

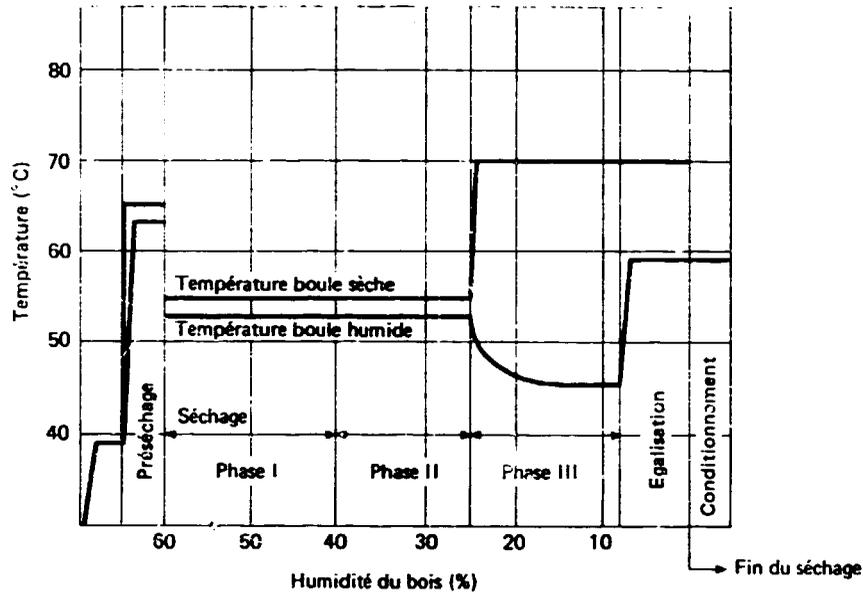
Selon la technologie moderne du bois, le séchage doit être effectué :

- Avec un « degré de séchage » constant, tout au moins pendant les deux premières phases. Le « degré de séchage » est le rapport entre l'humidité des couches superficielles du bois et l'humidité d'équilibre avec l'air de séchage;
- Avec une température relativement basse et constante au cours des deux premières phases et en augmentation au cours de la troisième phase;
- Avec une humidité relative de l'air constante dans la première phase et en diminution dans les deux phases suivantes.

L'humidité relative de l'air dans les séchoirs est généralement mesurée à l'aide d'un psychromètre, qui indique aussi bien la température de la boule humide que la température de la boule sèche. Le séchage est effectué avec une température humide constante pendant la première phase, en diminution dans la deuxième et constante dans la troisième phase. On vérifie le progrès du séchage en pesant les planches éprouvettes placées dans la pile.

Dans les grands séchoirs, il convient de conduire automatiquement le séchage d'après la mesure continue de l'humidité dans les planches éprouvettes, par voie électrique. La figure 3 donne un schéma

Figure 3. Température en fonction de l'humidité du bois (séchage contrôlé automatiquement)



du régime température-humidité, qui est contrôlé automatiquement avec des hygrostats. Le processus doit se dérouler en douceur. Le premier changement de température a lieu au point critique II; ceci prolonge le séchage, mais pour les conifères cette précaution n'est pas nécessaire. Dans le cas du sapin rouge, du pin et des bois blancs tropicaux, où un séchage de grande qualité n'est pas nécessaire, la conduite du séchage peut être faite avec des minuteries. Il est très difficile de prévoir une durée théorique de séchage, en raison de la complexité des facteurs en jeu. Les temps calculés par n'importe quelle méthode doivent être considérés uniquement comme une estimation grossière. Les calculs peuvent servir à évaluer les moments où l'on atteint les points critiques, ainsi que le temps total de séchage.

Le temps de séchage est une fonction non linéaire de la perméabilité, de l'épaisseur, du poids spécifique et de l'écart de séchage du bois. En outre, le temps de séchage est influencé par la largeur et la longueur des planches, l'orientation des sciages, le soin du séchage et la largeur des piles.

Un traitement additionnel dans le séchage des bois de conifères et de latifoliés doux n'est appliqué que pour égaliser l'humidité des diverses planches. On utilise de l'air conditionné pour modifier l'humidité moyenne du bois; en même temps, on augmente la température. Les feuillus durs sont soumis à un « conditionnement » final, qui consiste à égaliser l'humidité à l'intérieur des planches, par abaissement graduel du gradient de l'humidité. Cette technique est nécessaire quand il y a des poches d'humidité dans les conifères (sapin hemlock) et quand on opère avec de l'air très humide et chaud. L'opération est plus réussie si elle est effectuée vers la moitié de la phase III, plutôt que vers la fin. Cette même opération sert à stériliser le bois et à éliminer des moisissures qui pourraient apparaître en cours de séchage. Elle permet également de « reconditionner » le bois si le gradient d'humidité à l'intérieur des planches est trop brusque.

Le bois séché artificiellement doit être stocké de façon à être protégé des variations climatiques saisonnières. Ceci est recommandé, même si le bois doit être travaillé immédiatement, surtout dans le cas de lots importants de feuillus durs, car il est difficile et coûteux d'éliminer les tensions dans le séchoir. Quand l'humidité n'est pas très basse (12-14 %) et que les planches sont empilées sans espacement, on peut procéder au stockage dans un dépôt fermé à ventilation réglable. Par contre, si l'humidité est basse (6-8 %) et que le bois reste latté au sortir du séchoir, le dépôt doit être climatisé. Le relâchement des tensions sera meilleur dans l'empilement sans espacement.

Ingénierie

Les séchoirs sont des cellules ou des tunnels en maçonnerie ou en tôle métallique; ils doivent être étanches à l'eau, résistants à la corrosion par les vapeurs et les acides et isolés thermiquement. Dans

les séchoirs modernes, l'appareillage pour la circulation et le conditionnement de l'air est monté à l'intérieur du séchoir.

Le séchage des planches de résineux est relativement rapide, avec une forte évaporation par unité de temps. Il faut donc des températures élevées et une grande vitesse de circulation de l'air dans les piles (3-5 m/s). En Europe centrale, on préfère les séchoirs à cellules (à action périodique) pour les résineux; cependant, toutes les constructions conviennent à condition que la circulation d'air y soit rapide et uniforme.

Quand il s'agit de manipuler de grandes quantités de bois à l'aide de chariots élévateurs à fourche, il convient de construire de grandes cellules permettant l'entrée des chariots, surtout quand il s'agit de planches épaisses et denses. La capacité de telles cellules peut atteindre 500 m³.

Dans les séchoirs modernes du type tunnel, le problème du transport (en continu ou par lots) est résolu par un système de chariots sur rails ou par un transporteur à rouleaux.

Les lattes doivent être en bois traité et séché, et le rapport épaisseur/largeur doit s'élever à 1,5 au moins. L'épaisseur des lattes est normalement égale à la moitié et au maximum aux deux tiers de l'épaisseur des planches. Il faut les manipuler avec soin et les stocker sous abri.

Les ventilateurs peuvent être du type axial ou du type radial. Il y a de nombreuses possibilités de dispositions des ventilateurs et des déflecteurs en vue d'assurer une circulation uniforme de l'air à travers les piles. Les ventilateurs doivent avoir un rendement élevé afin d'économiser la consommation d'énergie électrique. Le plus souvent, on procède au chauffage de l'air avec des radiateurs à eau chaude ou à vapeur provenant de chaudières alimentées par un combustible liquide ou des déchets de bois. Il faut tenir compte du coût de chaque source d'énergie; en Italie, par exemple, l'énergie électrique est très coûteuse; en Scandinavie, quelques tunnels de séchage utilisent l'air chaud évacué pour un préchauffage de l'air frais.

Dans la plupart des cas, la déshydratation de l'air est assurée par un recyclage partiel de l'air du séchoir avec l'air extérieur, grâce à des prises d'air réglables comme dans un carburateur.

Dans certaines installations, des échangeurs à eau froide refroidissent et condensent partiellement la vapeur d'eau, puis chauffent l'air à la température de séchage. L'humidification de l'air est faite par nébulisation de vapeur saturée dans l'air à l'intérieur du séchoir.

Outre l'automatisation de la conduite du séchage par mesure électrique de l'humidité du bois dans le séchoir, il existe divers systèmes empiriques fondés sur le temps et sur l'humidité relative de l'air; ces systèmes conviennent assez bien pour les résineux et les latifoliés doux, à condition d'être accompagnés de mesures initiale et finale de l'humidité du bois par la méthode de la pesée. Le contrôle final est le plus important, car il montre s'il faut éventuellement modifier le traitement. Ces systèmes sont nettement déconseillés pour le séchage de feuillus durs.

Séchage à température élevée ou à la vapeur

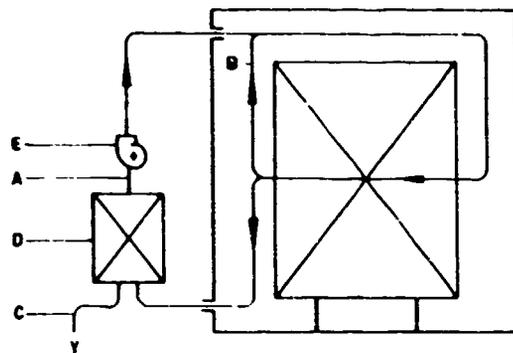
Si la rapidité du séchage est plus importante que sa qualité, des feuillus tendres et des résineux perméables peuvent être séchés à des températures supérieures à celles du point d'ébullition. En pareil cas, la vapeur non saturée (surchauffée) est préférable à l'air, parce que le régime de séchage est plus doux. La surface des planches noircit, mais l'intérieur reste blanc. Le fendillement est évité, car la plasticité du bois est maximale à ces températures. Le bois gonfle plus lentement et il est donc considéré comme plus stable. Les séchoirs doivent être entièrement métalliques et parfaitement étanches, car le contrôle de l'humidité est très important et il faut éviter toute infiltration d'air extérieur. Les dimensions des séchoirs sont relativement faibles (charge moyenne de 5 m³ de bois).

Les temps de séchage ne s'élèvent qu'au quart ou au tiers des temps nécessaires avec l'air conditionné. Malgré ce grand avantage, ce mode de séchage n'a pas encore trouvé une application industrielle importante.

Séchage par condensation partielle de la vapeur d'eau (pompe à chaleur)

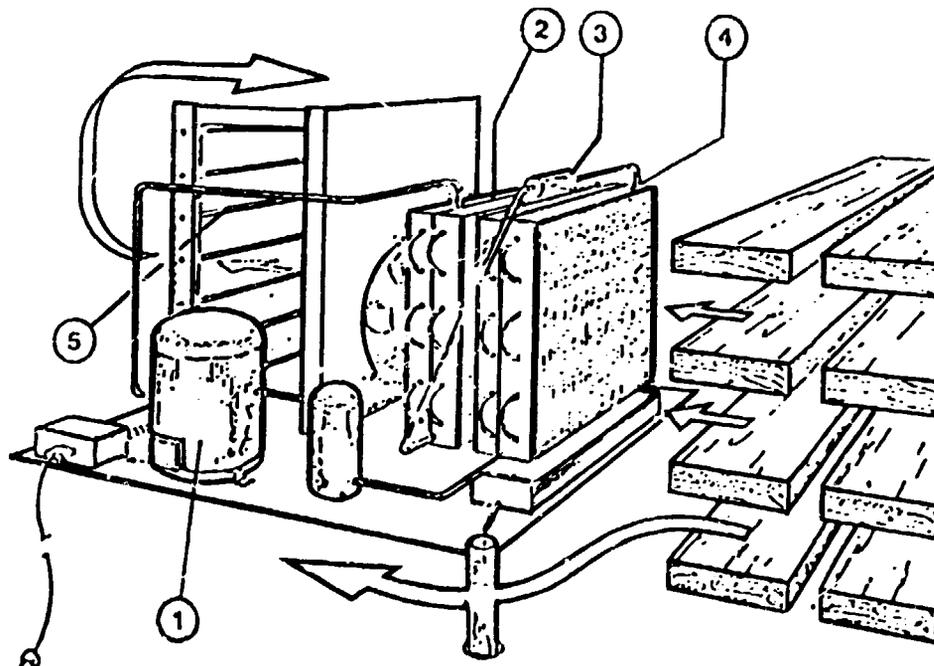
La diminution de l'humidité absolue de l'air dans la cellule de séchage est assurée par refroidissement de l'air au-dessous du point de rosée, ce qui provoque la condensation d'une partie de l'eau. Le même air circule toujours dans la cellule, sans recyclage. Bien que ce procédé ne soit pas nouveau, il ne s'est généralisé dans l'industrie que récemment: il fait l'objet d'un brevet italien.

Figure 4. Circulation d'air dans un séchoir par condensation



- Légende : A Air circulant dans le conditionneur
 B Partie de l'air circulant dans le séchoir
 C Vidange de l'eau condensée
 D Conditionneur
 e Ventilateur

Figure 5. Séchoir à condensation



- Légende : 1 Compresseur
 2 Condenseur
 3 Valve d'expansion
 4 Evaporateur
 5 Chauffage complémentaire

La diffusion de ce procédé a été longtemps limitée parce que l'électricité était la seule source d'énergie; il fallait l'économiser, notamment en Italie où l'énergie électrique est coûteuse, si bien que les températures et les humidités étaient assez faibles. Les temps de traitement sont donc plus longs, surtout au cours de la phase III lorsque la température est l'unique facteur de la vitesse de séchage. Il faut ajouter à cela le problème des grandes quantités de vapeur produites pendant la phase I du séchage des résineux. On opère donc avec des gradients élevés d'humidité de l'air dans le séchoir. Tout ceci a conduit à surdimensionner les installations.

Pour économiser l'énergie électrique et régler partiellement l'humidité relative de l'air selon les exigences des diverses essences, des contrôles permettent de différencier les diverses phases du cycle, des arrêts temporaires du compresseur permettant d'alterner les phases de condensation et les phases sans condensation.

L'installation nécessaire pour ce procédé comporte une cellule de séchage ayant les caractéristiques mentionnées plus haut. Si le courant électrique est coûteux, l'isolation doit être particulièrement soignée, du fait que les temps de séchage sont longs et que les pertes thermiques peuvent être plus importantes que la consommation réelle d'énergie.

La machine frigorifique, qui peut être installée dans la cellule ou à l'extérieur, est décrite dans les figures 4 et 5. Le condenseur peut servir au premier chauffage de l'air (pompe à chaleur) après son refroidissement dans la zone de l'évaporateur. Le chauffage complémentaire est fourni par un radiateur électrique.

Des ventilateurs additionnels de recirculation sont montés dans les installations où la machine frigorifique n'est traversée que par une partie de l'air. Celle-ci peut recirculer à l'intérieur, sous l'influence du jet d'air qui pénètre dans la cellule à grande vitesse, en provenance de la machine frigorifique, à travers des ouvertures dans les conduites. Le préchauffage est assuré par un radiateur électrique, mais on peut utiliser également de la vapeur ou de l'eau chaude pour économiser du courant électrique.

Les caractéristiques du séchage par condensation sont : l'absence de vapeurs (facteur très important dans le séchage de bois malodorant dans des zones habitées); inutilité d'une chaudière, contrairement aux autres séchoirs; frais d'entretien réduits au minimum (facteurs très importants pour de petites installations industrielles ou artisanales).

Séchage sous vide

L'abaissement de la température d'ébullition par diminution de la pression au-dessous de la pression atmosphérique se traduit par une augmentation sensible de la vitesse d'évaporation à des températures relativement basses. Ceci est particulièrement important pour le séchage du bois, car la diminution de la température réduit le risque de dommages, notamment au cours des deux premières phases du séchage. En outre, on a constaté que, lorsque la pression diminue, la perméabilité des parois cellulaires augmente rapidement. C'est pour cela que l'on étudiait depuis longtemps déjà la possibilité d'appliquer la technologie du vide au séchage du bois. Ce n'est que récemment que cette technologie a été lancée en Italie sur le plan industriel par un procédé cyclique à « vide discontinu ». Malgré leurs résultats positifs quant à la qualité, les procédés à « vide continu » n'ont pas trouvé jusqu'à présent de solution économiquement acceptable.

En plus du préchauffage initial, le procédé de séchage comporte une série de cycles : phase de chauffage, suivie d'une phase d'abaissement de la pression. On porte progressivement le bois à la température voulue, tout en maintenant au minimum possible le gradient de température à l'intérieur du bois. Normalement, la température sera légèrement plus élevée que la température d'ébullition à la pression appliquée. Un abaissement ultérieur de la pression provoque une évaporation immédiate de l'eau de surface et l'abaissement de la température de surface jusqu'au point d'ébullition et au-dessous. On obtient ainsi un gradient décroissant de la température du centre vers les couches extérieures; l'eau a donc tendance à migrer du centre vers la périphérie, transférant ainsi la chaleur, qui entretient sur la surface la température d'ébullition, ce qui permet que se poursuive l'évaporation de l'eau de la surface du bois. La pression à l'intérieur du bois diminue; il s'ensuit une ébullition et une évaporation à l'intérieur, ainsi qu'une diffusion de la vapeur du fait de la capillarité du bois, à condition qu'il s'agisse de bois perméable et non thyllé. Le bois refroidit jusqu'au point de rosée; le processus est arrêté et le cycle recommence par une nouvelle phase de chauffage. On présume que l'ensemble des phénomènes ci-dessus provoque l'humidification continue de la surface du bois, d'où une diminution sensible du gradient d'humidité à l'intérieur du bois; dans de nombreux cas, on constate l'absence de gradient ou même un petit gradient décroissant vers le centre à la fin du séchage.

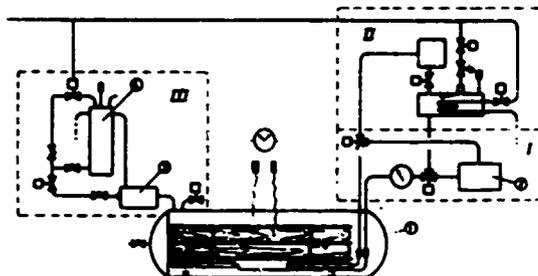
On opère à des pressions pouvant tomber jusqu'à 25 mm Hg. Les températures et les temps de chauffage suivent à peu près les règles générales. Plus le bois est perméable et résistant aux tractions transversales, plus élevées peuvent être les températures. On peut régler les durées des phases de chauffage en branchant des téléthermomètres dans le bois. Au cours du séchage, les températures augmentent de 20 °C et même plus, selon l'espèce du bois. Normalement, on fait varier la pression en fonction de

l'épaisseur et de la densité du bois. Les temps de séchage sont très écourtés par rapport aux temps de séchage à l'air conditionné; ils sont fonction de la perméabilité du bois et peuvent être le cinquième seulement du temps de séchage à l'air conditionné.

Il existe deux procédés, qui ne diffèrent que dans la phase de chauffage : dans un cas, on chauffe avec des plaques; dans l'autre, on chauffe avec de l'air conditionné (en équilibre avec l'humidité du bois) qui circule entre les planches grâce à des ventilateurs.

La figure 6 donne le schéma d'un séchoir à plaques chauffantes.

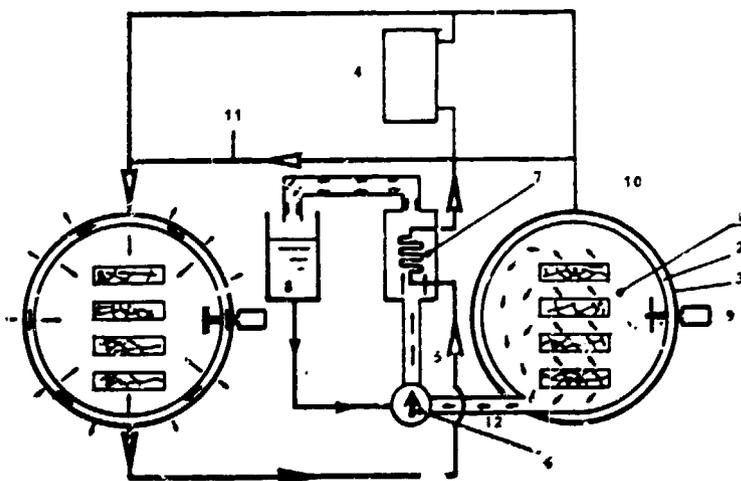
Figure 6. Schéma d'un séchoir à vide



- Légende :
- I Chauffage
 - II Refroidissement
 - III Pompage
 - 1 Autoclave
 - 2 Chaudière
 - 3 Pompe à vide
 - 4 Alimentation du condenseur

La figure 7 donne le schéma d'un séchoir à chauffage par air. Un tel séchoir comporte deux autoclaves, qui permettent d'alterner les deux phases du cycle. Pendant qu'un autoclave est en phase de chauffage, le second est en phase de dépression. Au début du séchage, la chaleur récupérée sert à préchauffer l'eau dans le circuit de la chaudière. Ensuite, la chaleur récupérée est suffisante sans la

Figure 7. Schéma d'un séchoir à vide, à chauffage par air



- Légende :
- 1 Autoclave
 - 2 Circulation, d'eau chaude ou de vapeur
 - 3 Revêtement isolant
 - 4 Chaudière
 - 5 Pompe du circuit d'eau chaude
 - 6 Pompe à anneau liquide
 - 7 Echangeur de chaleur
 - 8 Séparateur d'huile
 - 9 Ventilateur
 - 10 Circuit de la chaudière
 - 11 Circuit de récupération
 - 12 Evacuation de l'air et de la vapeur provenant du bois

chaudière. Lors du changement de phase, l'air chaud passe de l'autoclave chauffé dans celui qui a terminé la phase de dépression. Les autoclaves ont généralement les dimensions suivantes : 1,4-2 m de diamètre; 4-8 m de longueur utile; 2,5-8 m³ de capacité. Une pompe à anneau liquide produit le vide; une chaudière produit l'eau chaude ou la vapeur.

Séchage par énergie électrique à haute fréquence (ou chauffage diélectrique)

Diverses raisons ont été à l'origine des grands espoirs mis dans le séchage du bois par chauffage diélectrique : à haute fréquence, l'eau chauffe en premier parce que la perte diélectrique y est plus grande que dans le bois; le chauffage est uniforme dans toute la masse du bois; il est extrêmement rapide et ne dépend pas de l'épaisseur du bois (la vitesse de chauffage atteint 20 °C/mn). Dans la section transversale du bois, le gradient de température est inverse de celui que donne le chauffage par convection : il décroît du centre vers la périphérie, du fait des dispersions thermiques à la surface, dues à l'évaporation et au rayonnement.

A 100°, l'eau dans le bois se transforme en vapeur; la pression de la vapeur augmente avec la température et la vapeur est rapidement évacuée du bois par les capillaires. Une partie de la vapeur se condense à la surface du bois et la protège ainsi contre un séchage excessif et la formation de croûtes.

Au début du séchage d'un bois dont l'humidité est supérieure au point de saturation des parois cellulaires, le gradient d'humidité dans la section transversale est le même que dans le séchage par convection. Au fur et à mesure du séchage, ce gradient s'inverse : il y a un maximum d'humidité à la surface et un minimum au centre du bois.

On constate quatre phases caractéristiques dans le chauffage diélectrique :

a) La phase I est le préchauffage, avec une consommation spécifique maximale de chaleur. On ne chauffe que l'eau contenue dans le bois. La vitesse de chauffage varie de 4 à 20 °C/mn, selon la capacité du générateur;

b) La phase II consiste à égaliser la température du bois et celle de l'eau; elle doit être atteinte avant que l'eau n'arrive à ébullition. Dans cette phase, la consommation de chaleur est minimale;

c) La phase III est l'évacuation de l'eau sous forme de vapeur; la majeure partie de l'énergie thermique est consommée pendant cette phase. La vitesse d'évacuation de la vapeur peut être très élevée si la capillarité dans le bois est continue, étant donné que la vapeur se forme au centre du bois; la durée de cette phase dépend donc de la perméabilité du bois;

d) La phase IV consiste à porter l'humidité du bois au niveau désiré; pendant cette phase, la consommation d'énergie est minime.

Le temps de séchage dépend très peu de l'humidité initiale du bois; par contre, il dépend de la qualité du bois et de l'énergie disponible; en effet, plus le bois est humide et plus il est perméable.

En raison des grands écarts de la consommation d'énergie thermique d'une phase à l'autre, on a été amené à concevoir des installations et des procédés avec apport continu de bois dans le séchoir; il s'ensuit une forte économie, car la production du générateur demeure constante. Une installation de ce type est schématisée dans la figure 8.

Figure 8. Séchoir à chauffage diélectrique



- Légende :
- 1 Transporteur à bande
 - 2 Electrodes
 - 3 } Conduites d'air
 - 4 }
 - 5 Moteur du transporteur

Les planches de bois, chargées sur un transporteur à bande continue, circulent dans un tunnel entre des électrodes. L'humidité qui sort du bois chauffé à 100 °C est évaporée dans l'air qui circule dans le tunnel, où il est chauffé par les tubes du générateur de haute fréquence, et est évacué vers l'extérieur par un ventilateur.

Avec ce type d'installation, on ne peut sécher avec succès que des bois perméables : hêtre (sans faux duramen), peuplier, limba, abura, agba, tilleul, sapin, bouleau, érable, etc. Le temps de séchage de planches de 50 mm d'épaisseur varie de 2 à 4 heures (les planches de hêtre passent d'une humidité de 80-90 % à une humidité finale de 6-8 % en trois heures). Le séchage de bois thyllés et fortement duraminisés, donc imperméables (chêne), réussit mal : le cœur du bois sèche rapidement du fait de l'évaporation, tandis que les autres couches sont encore humides; en outre, la température à l'intérieur du bois augmente au point de provoquer un fort affaiblissement et une carbonisation. Pour pallier cet inconvénient, on a expérimenté au Royaume-Uni le séchage par variation de la tension primaire; toutefois, ce système ne peut donner de bons résultats qu'avec des électrodes de contact.

Pour les bois thyllés et imperméables, le procédé en continu dans un tunnel ne peut pas être appliqué.

XI. Panneaux de bois agglomérés : critères généraux pour la conception des installations et le choix des machines et des outillages*

Le présent chapitre a trait aux panneaux de bois, mais surtout aux machines utilisées pour leur fabrication.

Du point de vue de leur destination, les panneaux de bois agglomérés peuvent être subdivisés en deux catégories : ceux qui sont normalement utilisés pour la fabrication de meubles, d'éléments d'ameublement et de battants de portes; ceux qui sont faits spécifiquement pour le bâtiment, soit sous forme d'éléments préfabriqués, soit pour la construction totale ou partielle d'édifices divers. Des panneaux de bois trouvent d'autres utilisations, notamment sur les chantiers de construction, en substitution d'autres matériaux moins avantageux ou moins rationnels.

Panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques

On les obtient en transformant le bois en copeaux d'une longueur et d'une épaisseur données, en broyant ensuite mécaniquement ces copeaux pour obtenir des particules de granulométrie appropriée et en portant ces particules à un degré élevé de séchage, puis en agglomérant ces particules avec un pourcentage déterminé de résine synthétique collante et d'autres substances complémentaires; les panneaux sont constitués de quantités dosées de particules ainsi préparées, en respectant une distribution et une structuration particulières et uniformes; enfin, des presses chauffées permettent de rendre les panneaux compacts et fortement agglomérés. Les résines utilisées généralement pour produire ce type de panneau sont à base d'urée et de formaldéhyde; elles ont la propriété de durcir à la chaleur (résines thermodurcissables) et cette propriété est considérablement accrue si l'on ajoute des catalyseurs appropriés.

Outre la résine et le catalyseur, on ajoute normalement aux particules de bois une petite quantité de matériau hydrofuge (cire minérale en émulsion ou à l'état fondu), dont le but est de rendre les panneaux quelque peu imperméables à l'eau.

Pour les meubles et autres produits destinés à des pays où il faut craindre des attaques de parasites du bois (en particulier, celles des insectes xylophages), on peut compléter la préparation des particules en appliquant ou en ajoutant un mélange d'agents de protection appropriés. Grâce aux techniques modernes, ces panneaux peuvent être fabriqués en grands formats, de l'ordre de 3 x 0 m², et même en continu, donc sans aucune limitation dimensionnelle dans le sens de la longueur. Il est certain que des panneaux de grand format et des panneaux continus simplifient tous les problèmes de mesure que pose le marché, car il est possible de les débiter selon la demande.

L'épaisseur peut varier de 2,5 à 40 mm et répondre ainsi aux besoins les plus variés. La masse volumique — fonction de la matière première, du procédé de fabrication et de l'épaisseur des panneaux — peut varier de 350 kg/m³ (panneaux particulièrement légers, produits avec des bois ou d'autres matériaux cellulosiques de faible poids spécifique, et d'épaisseur généralement inférieure à 15 mm) à 800 kg/m³.

* Par M. Bermani, ingénieur, expert en panneaux de fibres. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/4/Rev.1.)

Les caractéristiques élasto-mécaniques sont bonnes et presque semblables à celles des contre-plaqués et des panneaux lattés. L'emploi de ces panneaux se généralise de plus en plus dans le monde entier pour la fabrication de meubles de style moderne, à éléments ou non, de revêtements, de cloisons coulissantes, de battants de portes, etc. Il peut être étendu à tous les cas où il n'y a pas d'humidité ambiante élevée, de contact avec l'eau ou d'exposition aux intempéries.

Panneaux de fibres de moyenne densité obtenus par un procédé à sec

Ces panneaux sont comparables aux précédents, mais leur importance industrielle est de loin inférieure pour le moment. Le procédé de fabrication est identique, à la différence près que le bois est transformé, non plus en copeaux, mais en fibres; on obtient ainsi des panneaux ayant une structure extrêmement compacte et uniforme dans tous les sens, que l'on peut donc facilement usiner.

L'épaisseur est normalement comprise entre 6 et 30 mm et la masse volumique varie entre 600 et 700 kg/m³. Ces panneaux peuvent être fabriqués dans des formats très grands, que l'on peut aisément fractionner. Jusqu'à présent, il n'existe pas d'installations pour leur production en continu. Les caractéristiques élasto-mécaniques sont analogues à celles des panneaux de particules. En raison de l'énergie nécessaire pour défibrer le bois, de la plus grande quantité de matières premières à épaisseur égale et pour d'autres raisons encore, ces panneaux sont sensiblement plus coûteux que les précédents. Leur utilisation est avantageuse, ou même nécessaire, quand les panneaux doivent subir des traitements particuliers : incisions, fraisages, façonnage soigné, etc.

Panneaux de fibres durs et semi-durs

Pour ces panneaux également, le défibrage du bois est nécessaire; ils peuvent être fabriqués aussi bien avec des procédés humides qu'à sec.

Pour les procédés humides, on utilise comme liant des substances que le bois contient déjà naturellement (lignine); les additions de résines synthétiques sont donc relativement limitées. Dans les procédés à sec, les fibres sont agglomérées avec des résines synthétiques semblables à celles que l'on utilise pour les panneaux de particules.

Avec les procédés à sec, on peut fabriquer des panneaux de grandes dimensions. Il ne semble pas qu'il y ait encore d'installations pour la production en continu. Les épaisseurs varient de 2,5 mm à 7 ou 8 mm. La masse volumique est supérieure à celle d'un panneau de particules de type normal et d'épaisseur équivalente. Les installations de production sont à peu près les mêmes que pour les deux types de panneaux décrits plus haut.

Panneaux de laine de bois minéralisée

Ces panneaux sont obtenus en agglomérant avec du ciment Portland ou du ciment magnésien une masse relativement moelleuse de laine ou de paille de bois. On fait ainsi des panneaux de dimensions limitées et d'épaisseur comprise entre 20 et 100 mm. Ils ont une structure fortement poreuse, ce qui leur confère une certaine légèreté; leur masse volumique varie de 360 à 570 kg/m³. Ils sont caractérisés par de bonnes propriétés d'isolation thermique et acoustique; en revanche, les résistances mécaniques sont modestes. Le procédé de « minéralisation » du bois permet aux panneaux, bien qu'ils soient très perméables à l'air, de ne pas être attaqués par les moisissures, les champignons, les bactéries et les insectes; ils résistent bien au feu et à l'humidité, même élevée. On ne les utilise que dans des secteurs particuliers de la construction : bâtiments provisoires, logements petits et modestes, constructions rurales, ou bien comme isolants thermiques à insérer dans les ouvrages de maçonnerie ou à appliquer comme faux-plafonds ou hourdis.

Panneaux de béton de bois-ciment

Pour ces panneaux, le bois est préparé sous forme de copeaux relativement gros; ceux-ci sont ensuite partiellement séchés, soumis à un traitement « minéralisant », puis malaxés avec du ciment Portland et de l'eau.

On forme avec cette pâte des éléments de dimensions limitées (généralement guère plus de 1 m²) et d'une épaisseur comprise entre 20 et 80 mm. Pour qu'ils aient d'assez bonnes caractéristiques mécaniques, leur masse volumique doit être de 500-700 kg/m³ pour des panneaux finis et portés à un taux d'humidité commercial. Les résistances mécaniques sont plus élevées et les conditions d'emploi sont plus favorables que pour les panneaux de laine minéralisée; en particulier, leurs surfaces ne sont pas poreuses et on peut les revêtir facilement avec du plâtre ou du crépi. Ces panneaux sont faciles à travailler; ils retiennent assez bien les clous et on peut les assembler entre eux sans difficulté avec des liens métalliques spéciaux, mais simples. Les coefficients d'isolation thermique et acoustique sont excellents; le comportement aux intempéries et au feu est très satisfaisant. Grâce à ces caractéristiques, ces panneaux conviennent particulièrement pour les coffrages « perdus » et comme isolant des coulés de béton portant et de ciment armé. On peut les utiliser pour faire des planchers, des faux-plafonds, des hourdis, des parois extérieures ou intérieures, etc.

Panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques résistant à l'humidité et à l'eau

La structure de ces panneaux et les équipements nécessaires pour les produire correspondent à ce qui a été dit plus haut pour les panneaux à résines ordinaires. Les résines utilisées sont à base de phénol et de formaldéhyde ou appartiennent au groupe des mélamines; il s'agit toujours de résines thermodurcissables et catalysables; une fois que la polymérisation est terminée, elles sont totalement insensibles à l'eau froide et à l'eau chaude. On a étudié récemment d'autres résines synthétiques qui permettent d'obtenir des panneaux du même type, mais ils sont encore au stade expérimental ou n'ont eu, pour le moment, que peu de débouchés industriels. Il ne suffit pas d'utiliser des résines résistant à l'eau pour obtenir des panneaux qui répondent aux besoins de l'industrie du bâtiment: il faut limiter le plus possible le gonflement des particules de bois, par suite celui des panneaux, qui peut être provoqué par une absorption d'eau; on y parvient par l'addition de substances hydrofuges appropriées et par des traitements particuliers. Il convient, en outre, d'empêcher toute attaque parasitaire (moisissures, champignons, etc.) qui conduirait rapidement à la dégradation du matériau; à cette fin, il faut ajouter d'autres produits de protection. La résistance au feu est une autre qualité requise des matériaux de construction; à l'exception de cas particuliers, les panneaux de particules pour le bâtiment reçoivent un traitement ignifuge lors de leur fabrication.

Panneaux de particules agglomérées avec des lessives de bisulfite de lignine

La production de ce type de panneaux est relativement récente. Elle ne peut être assurée dans de bonnes conditions économiques qu'au voisinage d'usines de papier et pâte à papier pouvant fournir, comme leur sous-produit, les lessives de lignine qui seront concentrées sous forme de sirops et utilisées comme liant des particules.

Les installations et les procédés sont analogues à ceux des panneaux à résines synthétiques; la principale différence concerne le pressage: la durée de cette phase est nécessairement plus longue que pour les autres types de panneaux; on peut remédier en partie à cet inconvénient en ajoutant aux lessives un certain pourcentage de résine phénolique thermodurcissable et en accélérant le chauffage des panneaux sous presse avec des courants électriques à haute fréquence. Pour le même poids de particules de bois, la quantité de lignine ajoutée est très supérieure à celle des résines synthétiques utilisées pour les autres types de panneaux de particules; la masse volumique est donc beaucoup plus élevée, mais ceci ne constitue pas un inconvénient important si les panneaux sont destinés au bâtiment. La résistance à l'humidité et à l'eau des panneaux au bisulfite de lignine est remarquable et le gonflement par absorption est extrêmement faible.

Panneaux de particules agglomérées avec du ciment

Il s'agit d'un autre type de panneaux mis en production à une époque relativement récente; ils rencontrent déjà un vif succès et ont de nombreuses applications dans les techniques modernes de construction. Leur coût est inférieur à celui des autres panneaux et leur fabrication est plus simple. Leur

comportement aux intempéries est excellent et leur durabilité est plus que satisfaisante, car les particules de bois sont « minéralisées » : il n'y a pratiquement pas de problèmes d'attaques parasitaires et de dégradation. La stabilisation du bois se traduit par de très faibles variations dimensionnelles quand l'humidité change. La résistance au feu est bonne. Pour le moment, les caractéristiques élasto-mécaniques sont sensiblement inférieures à celles des panneaux agglomérés avec des résines synthétiques, et la masse volumique est bien plus élevée : elle est toujours supérieure à 1 000 kg/m³.

Le format est relativement grand et correspond généralement aux dimensions des éléments modulaires : la longueur est supérieure à 3 m, la largeur varie de 1,25 à 1,83 m et l'épaisseur est comprise entre 7 et 40 mm. Lors du pressage, on atteint des charges spécifiques du même ordre que dans la fabrication de panneaux de particules ordinaires. Toutes les caractéristiques mécaniques sont bonnes. Les surfaces sont lisses et uniformes, ce qui facilite les travaux de revêtement : peinture, tapisserie, etc.

Malgré la teneur élevée en ciment, aucun usinage ne présente de difficulté : on peut les scier, les percer ou les fraiser, avec des outils appropriés, d'une façon qui ne diffère guère des panneaux de particules normaux. Ces panneaux sont particulièrement avantageux pour tous les types d'éléments de construction, de dalles, de hourdis, de cloisons, etc., du fait de leur résistance au feu, à l'humidité, à tous les agents atmosphériques, aux attaques des champignons, des moisissures et des insectes et à l'action des produits chimiques. Les propriétés d'isolation acoustique sont très bonnes ; bien qu'inférieures à celles des panneaux ordinaires, les qualités d'isolation thermique sont satisfaisantes. Pour toutes ces raisons, ces panneaux sont particulièrement avantageux comme coffrages auto-incorporants pour coulées de béton et de ciment armé, qu'il s'agisse de structures principales, de dalles ou de murs porteurs. Ils peuvent également être utilisés pour des battants de portes coupe-feu, des silos industriels et agricoles, des bâtiments ruraux, des panneaux publicitaires, etc.

Panneaux de fibres isolants

Tout comme pour les panneaux de moyenne densité et les panneaux durs ou semi-durs, la matière première doit être défibrée et agglomérée par voie humide, en utilisant généralement les substances naturelles du bois. Du fait de leur résistance mécanique modeste, ces panneaux ne peuvent pas être commercialisés en grands formats. L'épaisseur est généralement comprise entre 8 et 35 mm. Leur qualité primordiale est l'isolation thermique ; c'est pourquoi on les utilise dans les constructions où il faut un matériau isolant rigide et facile à poser.

Panneaux de fibres liées avec des substances minérales

Les liants sont le plâtre ou le ciment magnésien. Ces panneaux font de bons isolants thermiques et acoustiques, surtout pour les sons réfléchis si les surfaces ont été dûment travaillées (entailles, trous, décorations en relief, etc.). Par rapport aux panneaux isolants, ils ont l'avantage de durer plus longtemps et d'avoir une meilleure résistance au feu.

Critères pour l'établissement d'un programme industriel de production de panneaux de bois agglomérés

Deux considérations sont primordiales :

a) Les utilisations principale et secondaire des panneaux ; elles dépendront de la demande sur les marchés ;

b) L'approvisionnement en bois et autres matières cellulosiques, comme les sous-produits agricoles, ayant des caractéristiques physiques et technologiques qui les rendent propres à la fabrication d'un type donné de panneaux ; il faut disposer de quantités suffisantes à proximité de l'usine afin de minimiser les frais de transport.

La première considération s'applique surtout aux panneaux destinés à la menuiserie, plutôt qu'à la construction. Quand on a déterminé la destination du produit en tenant compte du marché, c'est la nature de la matière première qui rend possible, ou plus avantageuse, la production de tel ou tel type de panneaux. Par exemple, les bois à forte teneur en tanin ou en substances huileuses ne conviennent pas pour les panneaux agglomérés avec des résines synthétiques ; il est déconseillé d'utiliser des bois contenant

un certain taux de substances sucrées pour les panneaux agglomérés avec du ciment; il n'est possible de fabriquer des panneaux de laine de bois minéralisée qu'avec des rondins ayant au moins 7 ou 8 cm de diamètre. Il est évident qu'une limitation des possibilités d'approvisionnement entraîne une limitation correspondante de la capacité de production de l'usine projetée. Parmi les trois types de panneaux utilisables notamment dans l'industrie du meuble, il faut établir une distinction entre les panneaux minces, c'est-à-dire ceux dont l'épaisseur est comprise entre 2,5 et 7 mm, et ceux dont l'épaisseur est moyenne ou forte. Pour les premiers, on a le choix entre les panneaux de particules et les panneaux de fibres durs et semi-durs; pour les panneaux de moyenne ou de forte épaisseur, on a le choix entre les panneaux de particules et les panneaux de fibres de moyenne densité : les seconds sont moins onéreux que les premiers, mais sont plus difficiles à travailler.

Parmi les six types de panneaux utilisables dans la construction, les caractéristiques sont plus différenciées. Le choix de l'installation dépend du type des édifices (traditionnels, partiellement préfabriqués, entièrement préfabriqués), des critères suivis dans le projet et de l'emploi spécifique auquel sont destinés les panneaux (coffrages perdus, compléments d'autres matériaux, éléments auxiliaires, matériau de construction proprement dit). Par souci de concision, on ne traitera que des panneaux de particules; toutefois, on mettra en relief les différences entre les caractéristiques technologiques qui découlent du matériau agglomérant adopté (résines synthétiques diverses, lessives de lignine, ciment). Bien qu'il soit possible de produire avec le même outillage tous les types de panneaux agglomérés avec les diverses résines synthétiques, il faut connaître dès le début du projet la destination ou les destinations des panneaux, afin d'éviter l'achat de machines qui ne seraient pas optimales ou n'auraient pas la souplesse d'utilisation nécessaire.

Il faut souligner que la plupart des installations permettent de produire des panneaux de n'importe quelle épaisseur; mais si la fabrication est orientée vers les panneaux de faible épaisseur, il est incontestablement avantageux d'envisager une installation spécialement conçue pour ce type de production, car elle sera beaucoup moins coûteuse.

Critères pour le choix des machines et outillages des divers secteurs d'une usine de fabrication de panneaux de particules

Les secteurs communs à toutes les usines de fabrication de panneaux de particules sont les suivants :

- Dépôt des matières premières (bois et matières cellulosiques)
- Secteur de transformation mécanique en particules
- Secteur de séchage des particules
- Secteur de préparation des agglomérants et d'addition aux particules
- Secteur de formation et de pressage des panneaux
- Secteur de finissage des panneaux

Dépôt des matières premières

Lors de la conception d'une fabrique de panneaux de particules, il faut tout d'abord prévoir le dépôt de matières premières, ainsi que le matériel nécessaire pour le déchargement, l'empilement, le prélèvement et l'acheminement de matières premières.

La matière première peut être homogène, c'est-à-dire constituée d'un seul type de matériau, ou elle peut consister en plusieurs matériaux qui seront utilisés en même temps et dans des rapports constants lors de la première transformation. La sciure de bois peut être stockée dans des silos; les autres matières premières sont normalement stockées en plein air.

Pour calculer la surface utile nécessaire, compte non tenu des voies d'accès et des espaces libres imposés pour des raisons de sécurité, il faut considérer la capacité de production de l'usine et la régularité des arrivages des matières premières. Même si l'approvisionnement est facile et continu, les stocks ne devraient jamais descendre au-dessous de la quantité correspondant à 40-50 jours ouvrables; ils doivent être plus importants si l'approvisionnement est irrégulier ou saisonnier. Dans le calcul de la superficie, il faut prendre le poids de la matière première anhydre nécessaire par m³ de panneaux et le volume correspondant de cette matière lorsqu'elle arrive au dépôt; en outre, il faut tenir compte de la hauteur optimale des piles ou des tas de bois, selon la nature des matériaux. Les petits copeaux et matériaux analogues peuvent poser des problèmes de conservation si le stockage doit durer longtemps :

Figure 1. Matériel de stockage et de transport de matières premières

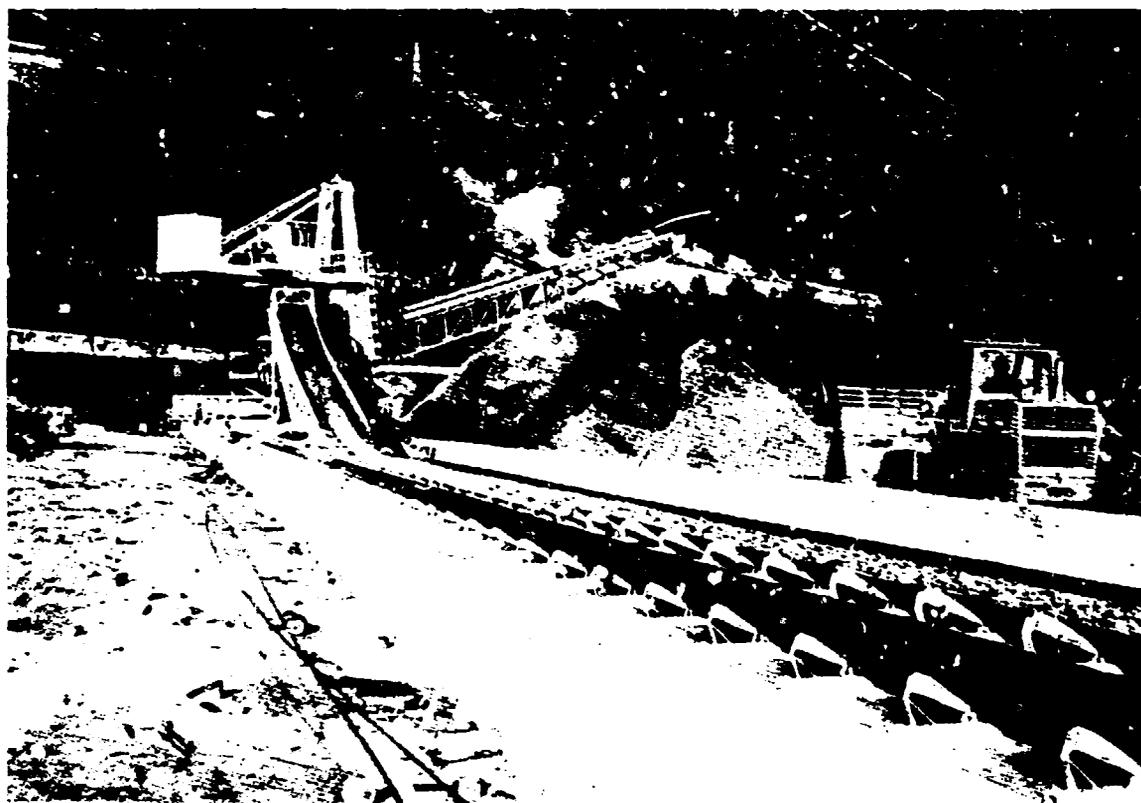


Figure 2. Matériel de manutention de petit bois

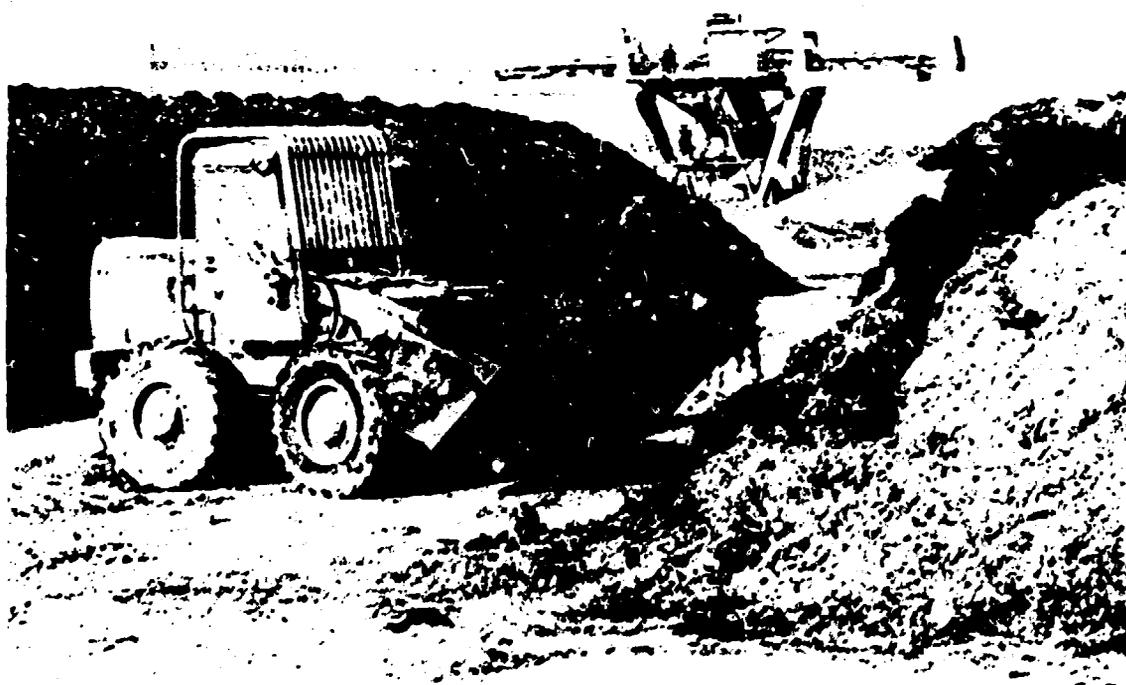


Figure 3. Triage des bois



il faut prévenir la dégradation par des facteurs biologiques, tels que champignons et moisissures, surtout si les conditions climatiques sont défavorables.

On a vu que, pour des raisons pratiques, ces matériaux doivent être stockés en plein air: ils sont donc exposés aux intempéries. Pour les protéger et prévenir leur dégradation, on a recours à un système de ventilation, qui assure en outre une première diminution de l'humidité. Il s'agit, en l'occurrence, de procéder à une aération interne des tas et de maintenir une certaine surpression afin d'empêcher la pénétration de l'eau de pluie. On utilise un système rudimentaire de tuyaux parallèles, en tôle ou en ciment, percés de trous, qui reposent simplement sur les aires de dépôt et sont reliés à un collecteur dans lequel un ventilateur envoie de l'air à basse pression, réchauffé par de la fumée et autres produits de combustion qui créent à l'intérieur des tas un milieu défavorable aux attaques de parasites. On peut faire en sorte que le système de ventilation ne soit mis en marche, automatiquement, que lorsque les conditions météorologiques l'exigent. La figure 1 montre du matériel de stockage et de transport de matières premières.

Le choix des moyens d'empilement dépend de la nature des matières premières. Pour le bois sous forme de rondins ou de ramilles, on préfère généralement les bennes automotrices avec pinces hydrauliques; afin de faciliter les manœuvres, la hauteur des piles ne dépasse pas 4 m (figure 2). On utilise les mêmes moyens pour les fagots, les délignures et les brosses mises en fagots, en adaptant les pinces

Figure 4. Transporteur vers l'usine



hydrauliques. Le même matériel sert à prélever le bois des piles. Pour le transporter, dans l'usine, on a recours à des wagonnets sur rails ou à des remorques accrochées à des tracteurs. Si le dépôt est peu étendu ou très proche de l'usine, il peut être avantageux d'installer des transporteurs à chaîne.

Pour entasser des matières premières de petites dimensions et en vrac, on peut utiliser des pelles mécaniques ou, si ces matières premières sont suffisamment petites et régulières, des transporteurs à bande, à godets ou pneumatiques. On trouvera plus loin des détails sur les silos à sciures et les systèmes mécaniques de prélèvement. Par souci de concision, on n'étudie pas le cas des matières premières pouvant contenir des corps étrangers (sable ou gravier, clous, fils de fer, etc.) qui endommageraient les machines et doivent donc être préalablement éliminés; il en est de même des sous-produits des plantes dont on a extrait des fibres textiles (tiges de chanvre, paille de lin, etc.) et dont il faut éliminer mécaniquement tout résidu fibreux.

Enfin, il ne faut pas oublier que pour la fabrication de panneaux composés de trois plis ou plus, on part généralement de bois différents pour obtenir les particules convenant aux plis externes ou aux plis internes; les bois sont différents tout au moins dans la forme, même s'ils appartiennent à la même espèce. Par exemple, on peut utiliser des rondins à écorcer pour les plis externes, tandis que des assortiments inférieurs, comme les ramilles ou les fagots, peuvent convenir pour les plis internes (figure 3). Dans ce cas, le dépôt est divisé en deux parties, ayant chacune ses moyens de transport vers l'usine (figure 4).

Transformation mécanique des matières premières; machines à fragmenter et à broyer le bois

Les panneaux de particules modernes sont constitués de trois plis ou plus, ou bien ils sont formés de sorte que la granulométrie des particules aille en décroissant du centre à la surface. Dans les deux cas, on obtient des panneaux dont les faces sont exclusivement composées de particules fines et régulières, et qui sont donc très uniformes et compactes; c'est là une qualité qui facilite le finissage. On doit donc utiliser deux types différents de machines pour la préparation de particules normales et de particules fines; cette phase initiale est commune à tous les types de panneaux de particules, quel que soit le mode d'agglomération. On obtient des particules en deux ou trois phases successives. Quand il est préférable que tout le bois soit sous forme d'éclats, en raison des caractéristiques mécaniques ou parce que la plus grande partie est ainsi achetée, on réduit à cet état le bois qui arrive à l'usine sous une autre forme. Ce déchiquetage relativement grossier est fait à l'aide de déchiqueteuses à couteaux (figures 5 et 6).

Pour les bois en rondins, les délignures et les dosses, on peut utiliser des déchiqueteuses à disque : le matériau est amené sous un certain angle contre un disque rotatif à lames tranchantes qui découpent le bois en morceaux de 20 à 40 mm de long; le diamètre du disque est compris entre 1 000 et 2 000 mm et la capacité de production peut dépasser 150 m³/h.

Il est cependant préférable d'utiliser les déchiqueteuses à tambour, parce qu'elles peuvent traiter une plus grande variété de bois, y compris des déchets de placage, des petits fagots et des plantes annuelles que l'on ne pourrait pas découper avec les déchiqueteuses à disque. Le tambour est pourvu de couteaux très robustes; le matériau est amené perpendiculairement à l'axe du tambour et légèrement au-dessus de sa génératrice inférieure, par un transporteur à bande suivi d'une série de rouleaux dentés où ceux du dessous sont fixes, tandis que ceux du dessus sont oscillants afin de s'adapter à l'épaisseur du matériau. Les qualités importantes des machines à déchiqueter le bois sont la robustesse, la simplicité et la résistance à l'usure des pièces les plus sollicitées. Également important est le système d'oscillation des rouleaux supérieurs, qui est contrôlé et amorti hydrauliquement dans les machines les plus sophistiquées. Un dispositif de sécurité doit arrêter l'alimentation dès que le transporteur est surchargé. Si le bois risque de contenir des corps métalliques (par exemple, fils de fer servant à lier les fagots), il faut disposer un détecteur magnétique au-dessus du transporteur pour l'arrêter automatiquement en présence d'un objet métallique, même de dimension très réduite. La longueur des éclats de bois que l'on peut obtenir dépend de la vitesse de rotation du tambour, du nombre des couteaux et de la vitesse d'avance du bois; ces trois valeurs sont généralement réglées de façon à obtenir des éclats de 30 mm de longueur; il est bon, toutefois, de disposer d'une machine où de simples ajustements permettent de faire varier la taille des éclats de bois. L'action des couteaux est complétée par une contre-lame fixe; le modèle le plus perfectionné a quatre arêtes tranchantes, en alliage extrêmement résistant, ce qui permet de changer quatre fois la position de la contre-lame avant tout affûtage. La contre-lame doit être

Figure 5. Déchiqueteuse à couteaux

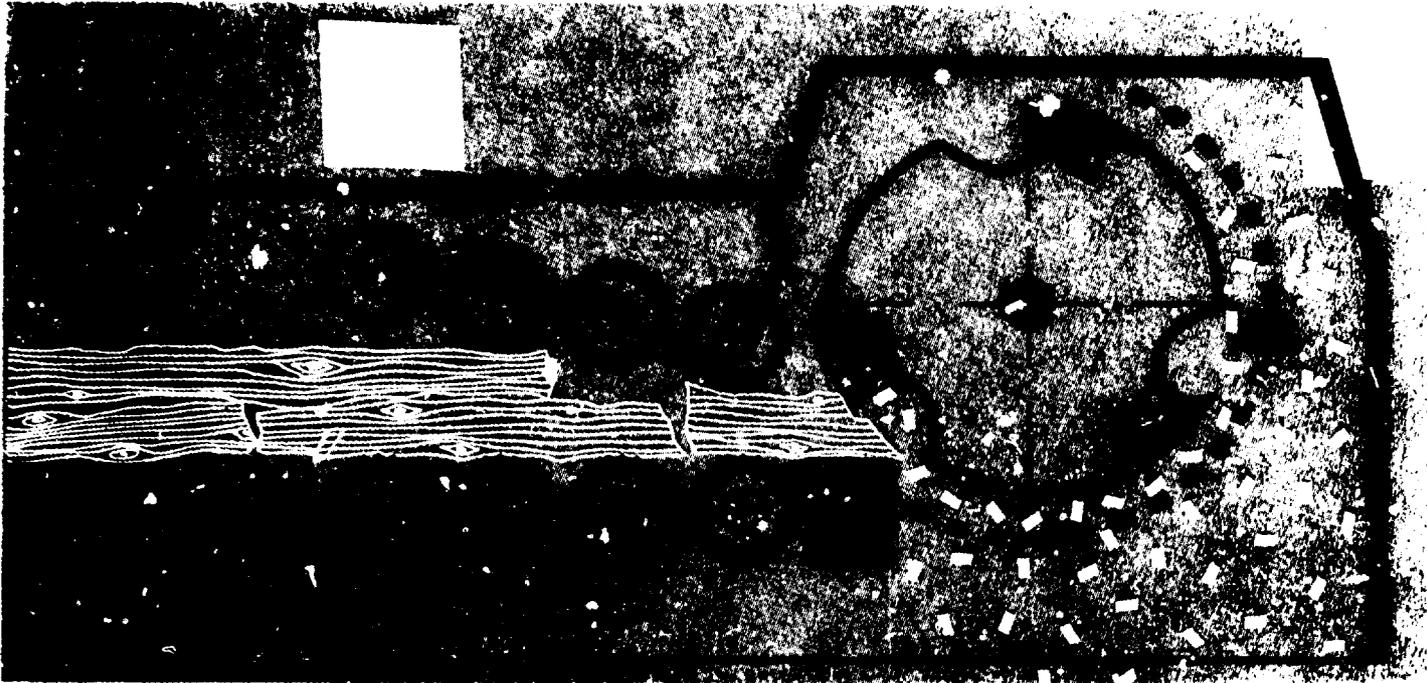
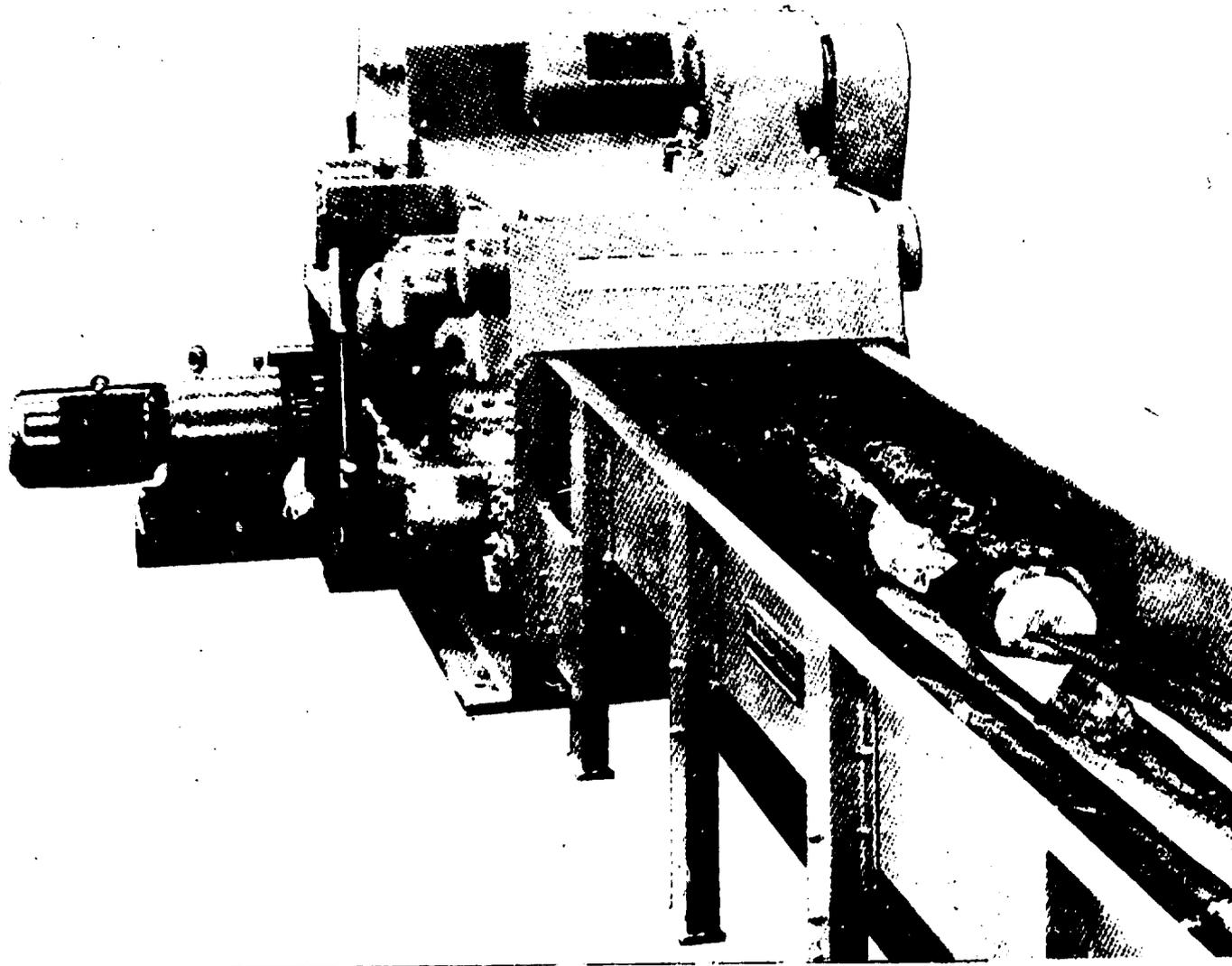


Figure 6. Déchiqueteuse de grosses pièces, avec toboggan d'alimentation



disposée en fonction des caractéristiques du tambour et de ses couteaux. La coupe du bois doit être faite selon un angle qui dépend des propriétés du bois, mais de manière à assurer l'absorption d'énergie la plus faible et la qualité des copeaux la meilleure. Il faut noter que le dispositif de fixation de la contre-lame est soumis à des chocs violents et fréquents qui peuvent l'endommager; les réparations ne sont pas fiables et le démontage est délicat. Le système le plus recommandé est le système à coins.

Figure 7. Tambour avec contro-lame à coins



Le tambour est fait avec des éléments en acier, soudés entre eux. Le constructeur doit garantir qu'il a subi un traitement thermique à même d'éliminer toute tension interne engendrée par les soudures, faute de quoi il pourrait y avoir des déformations et même des ruptures; un autre facteur important est l'équilibrage dynamique du tambour, afin d'éviter toute vibration qui porterait préjudice, étant donné sa masse considérable, à la durée des roulements à billes des supports. La figure 7 montre un tambour, système à coins. La commande du tambour est assurée par une transmission à courroies trapézoïdales : la poulie consiste en un volant coaxial au tambour, dont la masse contribue à absorber les pointes de charge. Les couteaux sont fixés au tambour par des boulons et des plaques de serrage à dos cylindrique. La saillie des couteaux doit être réglée avec précision; le meilleur système est celui qui permet ce réglage à l'extérieur de la machine, à l'aide de vis de réglage. Il est pratiquement impossible, quel que soit le type de machine, d'éviter la présence d'un certain pourcentage d'éclats de bois excessivement gros. Une bonne machine doit les empêcher de passer avec les éclats normaux; pour cela, elle doit être pourvue d'une grille solide ou d'une carte dans laquelle une traverse fait fonction de seconde contre-lame : les éclats sont fractionnés jusqu'à atteindre des dimensions normales. Le passage des éclats de bois à travers la grille est facilité par une aspiration pneumatique; la bouche d'évacuation est raccordée à un tuyau qui envoie le matériau à un ventilateur, puis à un cyclone de séparation.

La présence inévitable de poussières sur tous les organes en mouvement et l'impossibilité de garder ce type de machine en bon état de propreté compliquent le problème de la lubrification. C'est pourquoi le meilleur système d'entraînement du transporteur et des rouleaux est celui à engrenages enfermés dans un carter d'huile hermétique; l'avance est absolument régulière et les éclats sont uniformes. Les roulements à billes ou à rouleaux de tous les arbres doivent être munis de bagues d'étanchéité interdisant toute infiltration de poussières.

En résumé, le choix d'une machine à faire des éclats de bois doit être fondé sur les considérations suivantes : régularité de forme et de dimension des éclats; possibilité de traiter des bois très divers; solidité de tous les organes et structures, avec minimum d'entretien; changement rapide des outils de coupe; haute productivité horaire, exprimée en poids anhydre du bois ou en fonction de l'énergie consommée.

Il faut mentionner deux types particuliers de machines à faire des éclats de bois : le modèle à lame, où le matériau est introduit au-dessus du tambour, recommandé pour découper des petits morceaux de bois déroulé; la déchiqueteuse de matériaux conditionnés en balles (sous-produits agricoles) (figures 8 et 9). Dans la seconde machine, un alimenteur horizontal pousse les balles contre un tambour fraiseur qui opère sur toute la surface frontale; le tambour peut avoir un diamètre de 800 à 1 600 mm, en rapport avec les dimensions habituelles des balles.

Figure 8. Déchiqueteuse à lame pour petit bois

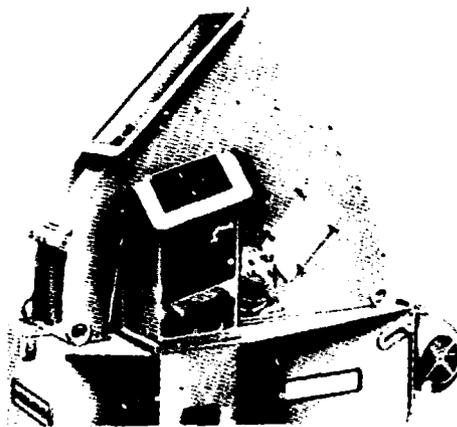
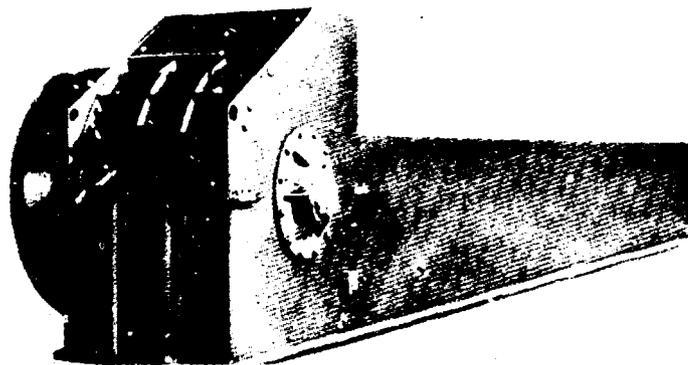


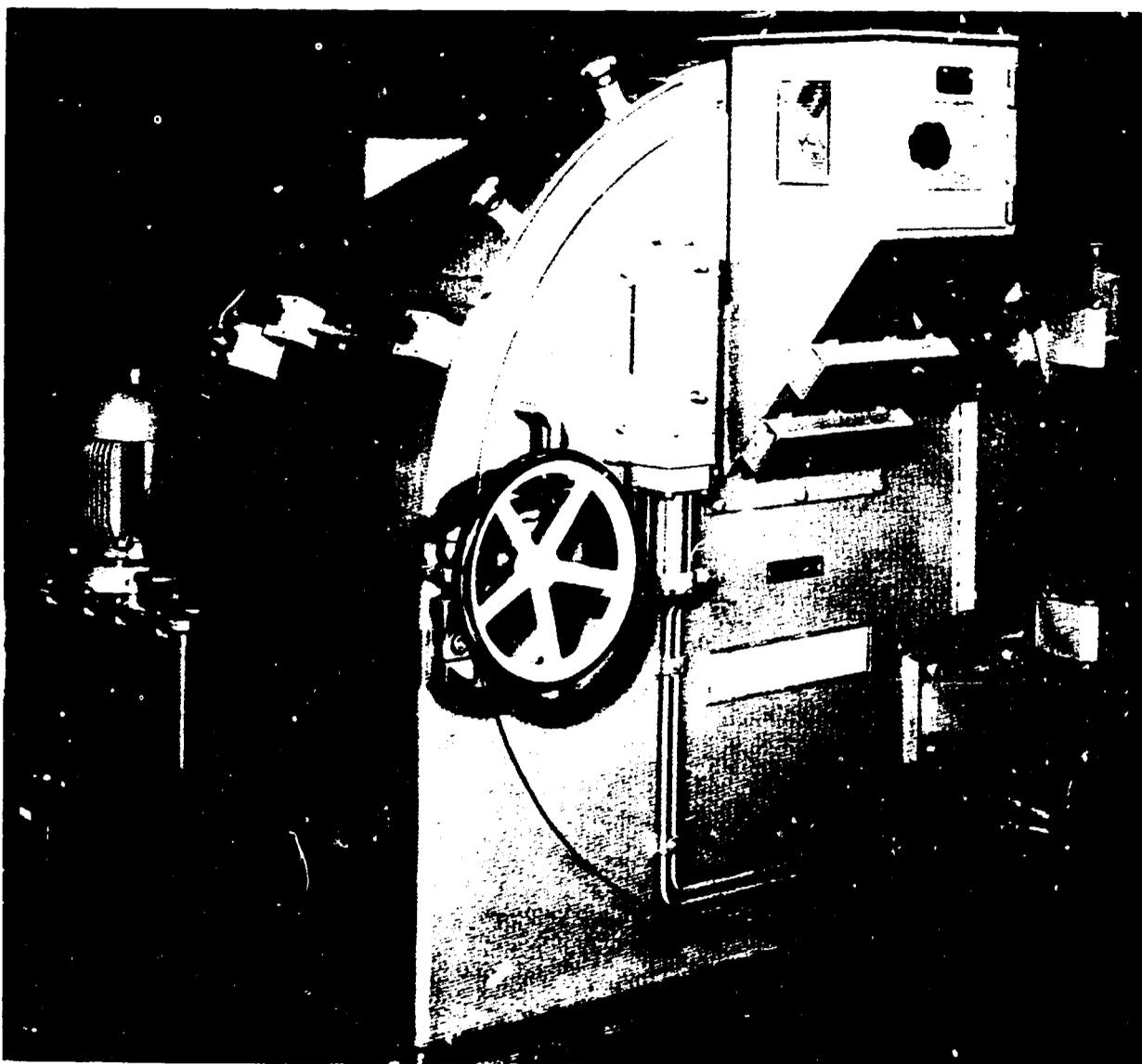
Figure 9. Déchiqueteuse de sous-produits agricoles en balles



Les machines à couper les éclats sont les machines principales de la première transformation du bois en particules : la régularité des particules que l'on obtiendra par broyage et, par suite, celle des panneaux dépend en grande partie de l'uniformité des fragments produits par les machines à couper les éclats (coupeuses). On peut grouper les coupeuses en deux catégories : celles qui coupent des éclats, achetés sous cette forme ou faits avec les machines décrites plus haut; celles qui découpent uniquement des morceaux de bois relativement longs, mais de faible section. A la première catégorie appartiennent les coupeuses à cage porte-couteaux rotative (figure 10), la meilleure étant à double mouvement (figure 11) : un rotor interne à pales et la cage à couteaux tournent autour du même axe, mais en sens opposés; le matériau est introduit en continu au centre du rotor et projeté sur la surface interne de la cage où émergent les couteaux; les fragments découpés sont aspirés vers l'extérieur, à travers les fentes entre les couteaux et les contre-lames. Couteaux et contre-lames sont montés et fixés de l'extérieur de la cage. L'épaisseur des fragments obtenus dépend de la saillie vers l'intérieur des couteaux et de la distance entre l'arête du

couteau et celle de la contre-laine. On doit pouvoir facilement et soigneusement régler la saillie et la distance. Des plaquettes en acier très dur sont fixées à l'extrémité des pales du rotor. De façon que l'on puisse régler leur saillie et les démonter facilement pour les affûter ou les remplacer. Ces plaquettes doivent être ajustées de sorte que leur extrémité effleure le tranchant des couteaux. L'arbre de la cage est tubulaire et il renferme l'arbre du rotor; la partie antérieure de la machine est libre de tout support et l'accès à l'intérieur est facile. La cage est actionnée par un moteur avec transmission à chaîne; le rotor est actionné par un autre moteur avec transmission à courroies trapézoïdales renforcées, ce qui assure quelque élasticité.

Figure 10. Coupeuse à cage porte-couteaux



Les deux sens de rotation opposés facilitent l'éjection des fragments, même lorsque le bois est très humide. L'enveloppe extérieure de la machine est hermétique; elle est reliée à une trémie et une tuyauterie qui envoie les fragments vers un ventilateur, puis vers un cyclone de séparation. Lorsqu'on choisit une coupeuse à cage, il faut veiller à la robustesse de la construction et à la fiabilité des roulements à billes et des organes rotatifs, ainsi qu'à la résistance à l'usure de toutes les pièces entrant en contact avec le matériau : plaquettes des pales du rotor, surface interne de la cage et contre-lames, qui doivent être faites avec des aciers spéciaux pour qu'il ne soit pas nécessaire de les changer ou de les rectifier trop fréquemment.

Figure 11. Schéma de fonctionnement d'une coupeuse à double mouvement

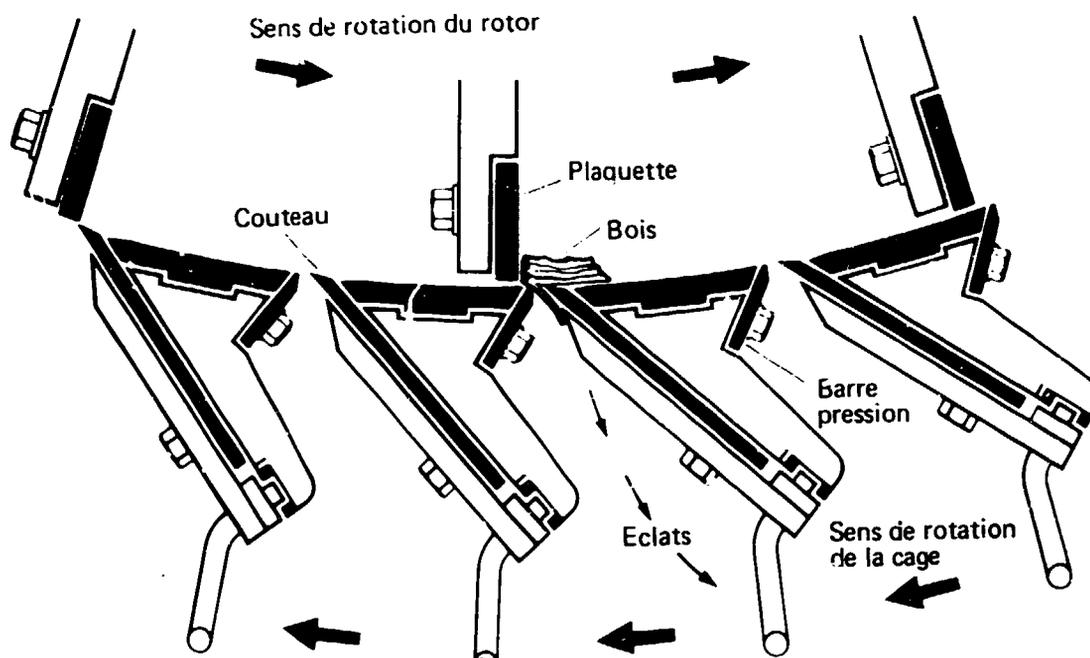


Figure 12. Dispositif hydraulique à bouton-poussoir



Figure 13. Remplacement des porte-couteaux



La qualité des copeaux est également très importante. De toute façon, il faut les affûter aussi souvent que nécessaire pour obtenir des copeaux uniformes et pour éviter un gaspillage d'énergie motrice. Il faut donc pouvoir déposer et reposer rapidement les copeaux, afin de réduire les temps morts. De ce fait, il est déconseillé de choisir des copeuses dans lesquelles il faut enlever tout le rotor pour changer les copeaux; les copeuses dans lesquelles chaque groupe copeau-contre-lame est interchangeable et peut être remplacé de l'extérieur sont plus pratiques.



Figure 14. Dispositif électromagnétique de réglage et de fixation des copeaux

L'inclinaison des copeaux, leur angle de coupe et la forme des porte-copeaux influent sur la fréquence des affûtages, étant donné leur effet sur la progression du bois et l'évacuation des copeaux. L'usure et le remplacement des copeaux affectent sensiblement les coûts de production; les copeaux doivent donc supporter de nombreux affûtages et rester utilisables même après une forte réduction de leur largeur : dans une bonne copeuse, on doit pouvoir utiliser des copeaux ayant perdu jusqu'à 65-70 mm à la suite des divers affûtages.

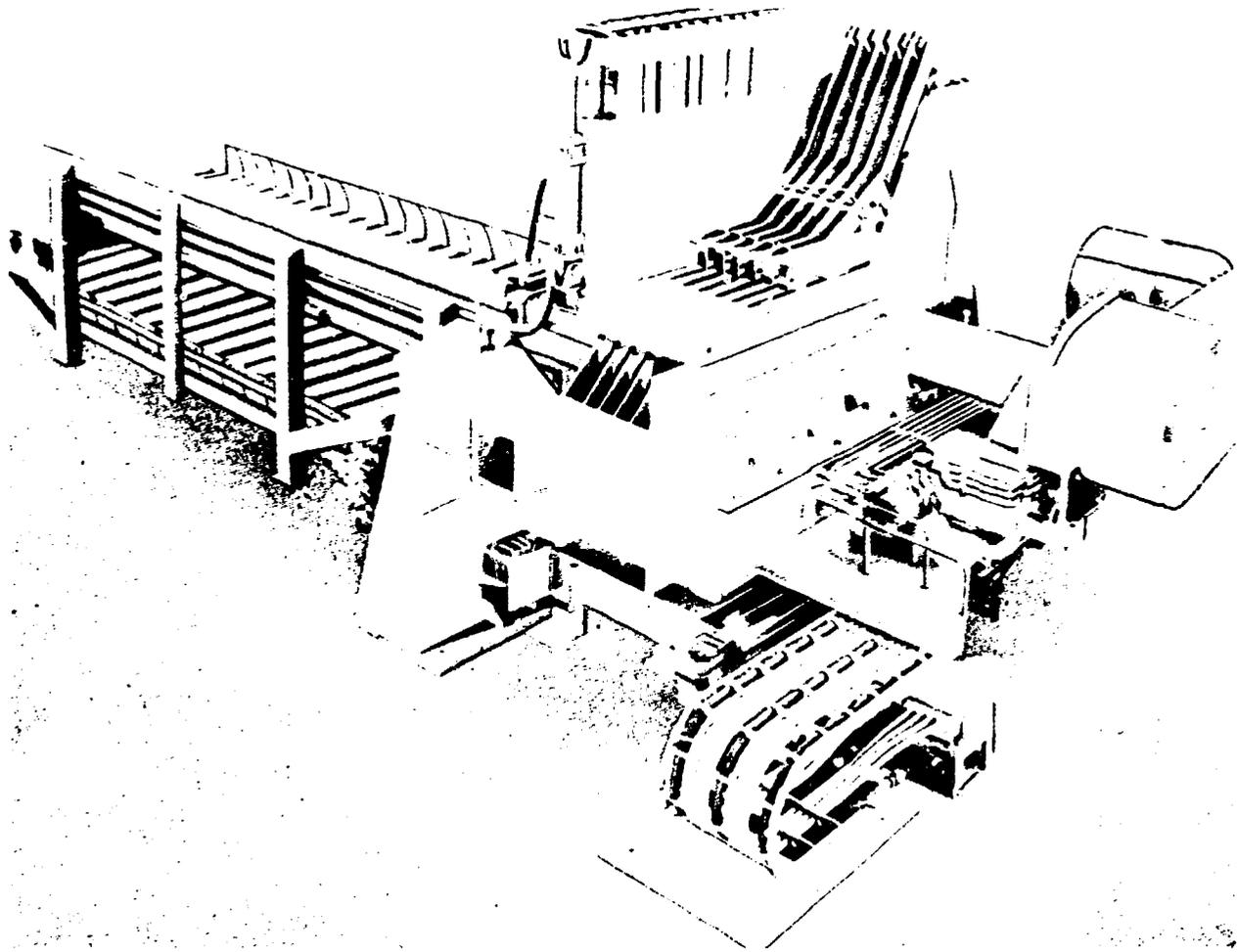
Si le système de logement des porte-copeaux est rationnel, leur dépose est rapide et le réglage de leur position est inutile. Il est recommandé d'adopter les dispositifs hydrauliques, commandés par un bouton-poussoir à chaque pression duquel correspond une rotation de la cage égale à l'espace entre deux outils et le relâchement du ressort qui bloque le porte-copeaux (figure 12). Ainsi, il n'est plus nécessaire

de desserrer des vis ou des boulons et le remplacement peut être effectué en un temps très bref, de 8 à 12 mn, selon la taille de la machine et le nombre de couteaux (figure 13).

Il est vivement conseillé de choisir des coupeuses où la surface interne de la cage est revêtue de plaques en acier très résistant fixées sur le côté, car cela permet une dépose rapide quand il faut les rectifier ou les remplacer.

Un accessoire très utile des coupeuses à cage est un dispositif électromagnétique qui facilite le réglage et la fixation des couteaux : l'aimant maintient immobiles le couteau et sa plaque de fixation, tandis qu'une clé électrique serre les boulons; une lampe éclaire une ligne de repère de la position préétablie de l'arête tranchante (figure 14).

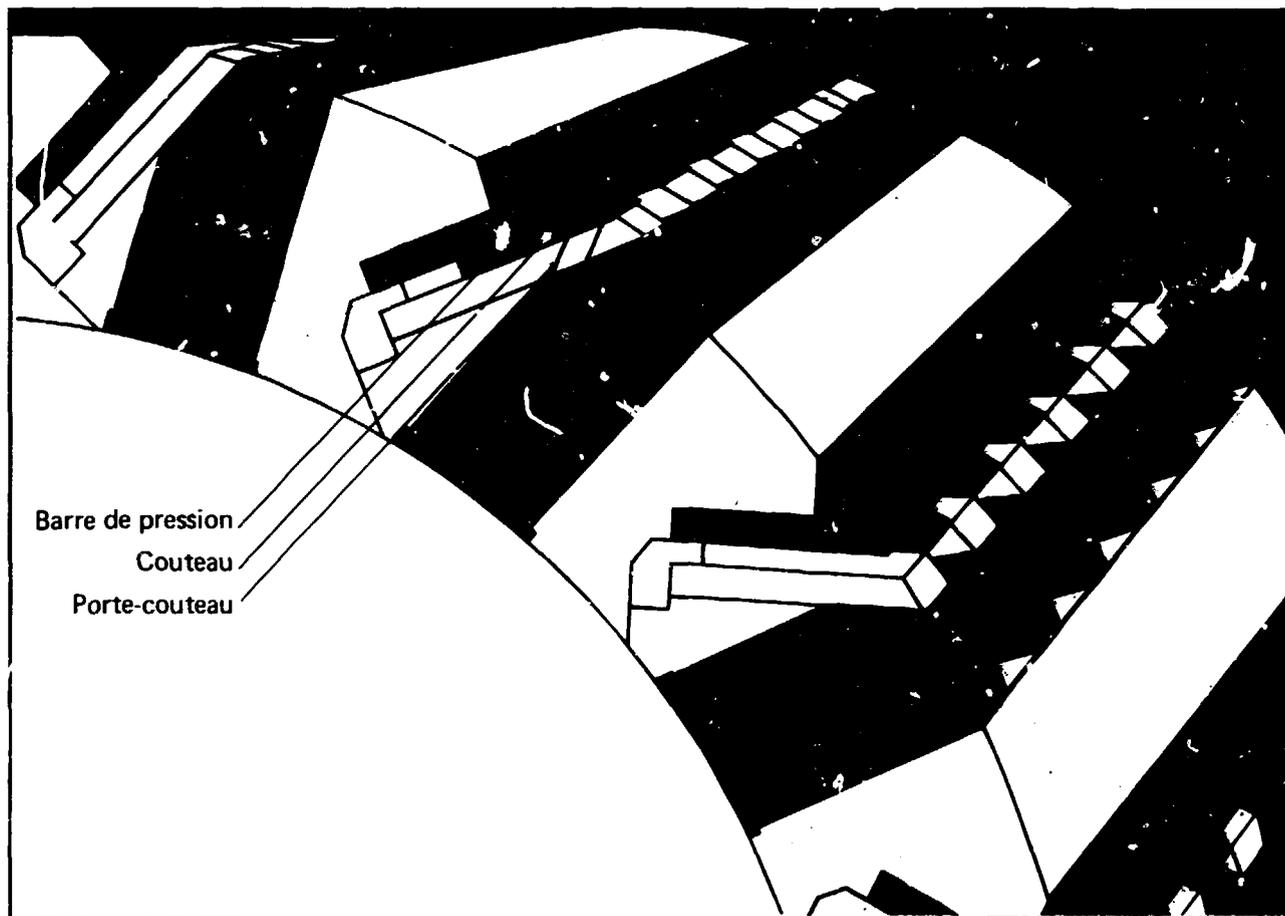
Figure 15. Coupeuse universelle



A la seconde catégorie appartiennent les coupeuses à disque vertical ou horizontal; en principe, elles produisent des fragments de bois uniformes, car ils sont découpés à plat. Cependant, elles ne peuvent être alimentées qu'avec des pièces de bois rondes, préalablement réduites à une longueur inférieure à 50 cm. De plus, leur productivité est relativement faible. C'est pourquoi elles sont de moins en moins utilisées; on leur préfère les coupeuses universelles à cylindre porte-outil. Celles-ci sont constituées d'un canal d'alimentation, avec un tapis à éléments métalliques articulés, d'un système hydraulique de blocage du bois pendant la coupe et d'un chariot à déplacement transversal sur lequel sont montés le moteur principal et le cylindre porte-outil (figure 15). Les caractéristiques du cylindre porte-outil sont extrêmement importantes. Dans les modèles les plus perfectionnés, les couteaux dont la largeur correspond à la longueur des fragments du bois sont disposés sur le cylindre selon des lignes hyperboloïdes, ce qui assure le maximum de continuité dans l'action de coupe; ils sont vissés sur les porte-couteaux, mais

ces derniers sont fixés sans vis au cylindre; sa surface est faite de plaques facilement et rapidement remplaçables; le réglage de la saillie des couteaux, selon l'épaisseur des fragments de bois que l'on désire obtenir, s'effectue avec un système circonférenciel, automatique et précis (figure 16).

Figure 16. Alignement des couteaux d'une coupeuse universelle



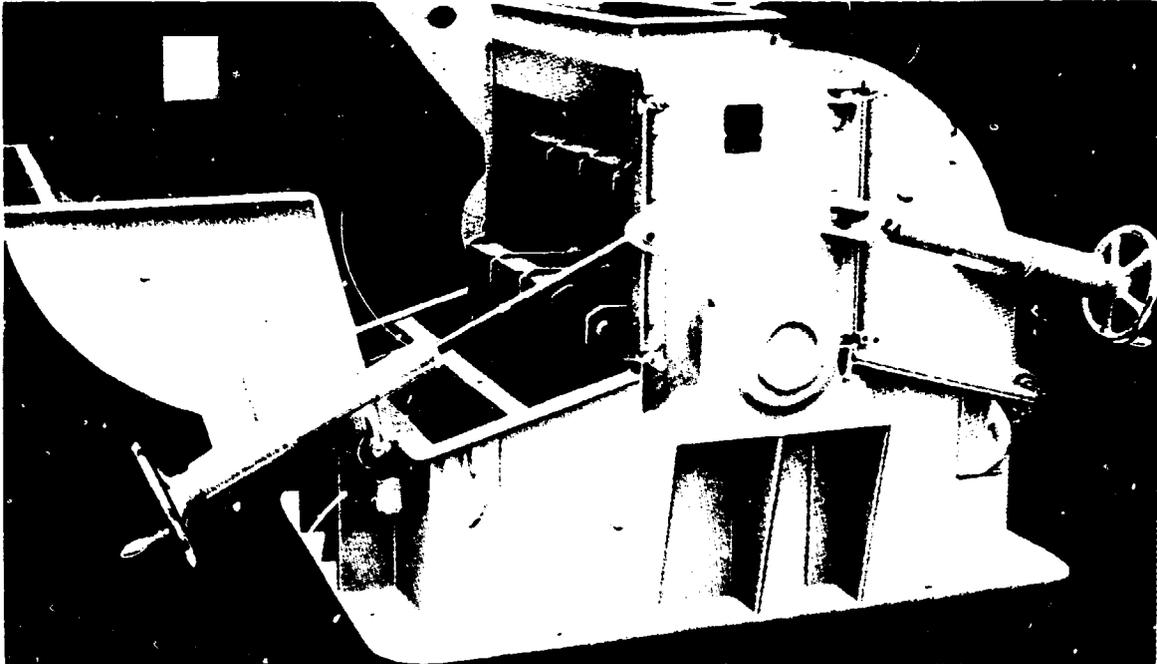
En changeant les outils, on peut faire varier la longueur des fragments : 20 à 30 mm; la puissance de la presse hydraulique qui serre le bois pendant la coupe évite la formation d'échardes et empêche toute vibration qui nuirait à la qualité du produit fini. Ces coupeuses universelles peuvent travailler les bois de toutes sections et atteindre des productivités considérables; la puissance requise varie de 90 à 250 kW et la capacité de production est de l'ordre de 5 à 6 000 kg/h de fragments de 0,4-0,5 mm d'épaisseur, en poids anhydre.

Le fractionnement en particules plus ou moins fines, selon le pli du panneau qu'elles sont destinées à composer, est obtenu à l'aide de broyeurs : le choix d'un type déterminé dépend justement de la granulométrie voulue. Pour les particules normales, qui composent les plis médians, il est conseillé d'utiliser un broyeur à marteaux, dont les plaques rotatives articulées projettent le matériau contre des éléments fixes et provoquent ainsi le broyage; le profil des plaques (marteaux) peut différer selon la nature du matériau; une grille à mailles ou à fentes détermine la granulométrie des particules (figure 17).

Le diamètre du rotor varie de 400 à 800 mm et sa longueur de 500 à 1 200 mm, selon la capacité de la machine. Lorsque le matériau a une humidité moyenne ou faible, il peut être avantageux d'utiliser un broyeur à moulinet, dans lequel la rotation du moulinet projette le matériau contre une grille périphérique, sur laquelle on peut fixer des plaques qui facilitent la fragmentation, si cette dernière doit être relativement fine. La granulométrie des particules est essentiellement déterminée par la grandeur et la forme des mailles de la grille. Le diamètre interne de ces broyeurs varie de 600 à 1 200 mm et la largeur de la grille de 200 à 600 mm, selon la capacité de la machine (figure 18).

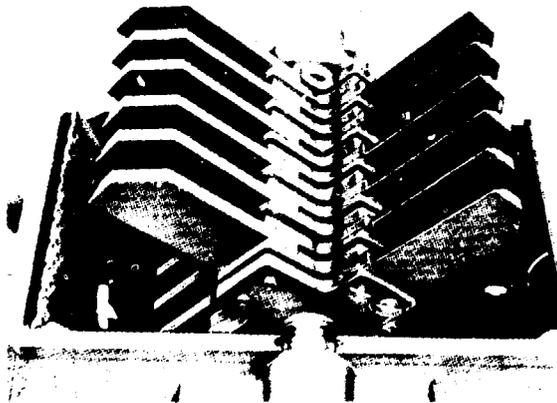
Pour obtenir des particules très fines ou dans le cas de matériau déjà séché, on peut utiliser un type particulier de broyeur à moulinet, où la grille n'est pas fixe, mais tourne en sens contraire du moulinet et dont les plaques pleines alternent avec les éléments à trous ou fentes (figure 19).

Figure 17. Broyeur à marteaux



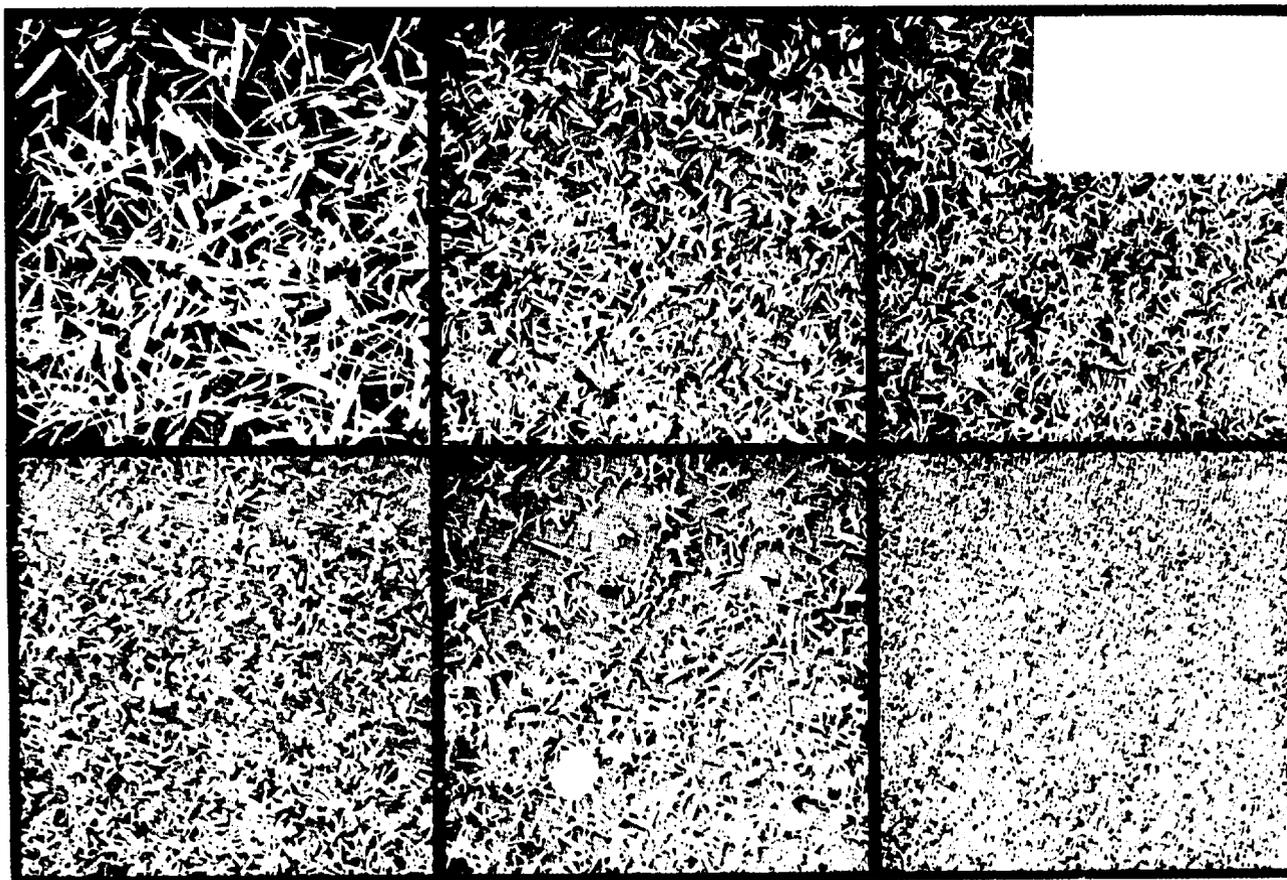
S'il s'agit, enfin, d'obtenir un véritable défibrage du matériau, par exemple pour des panneaux dont les plis externes sont particulièrement compacts, il faut utiliser un broyeur à double flux, où le matériau à défibrer est contraint de passer entre deux tambours -- l'un étant fixe et l'autre tournant à grande vitesse --

Figure 18. Broyeur à moulinet



dont l'espacement est réglable selon la granulométrie des particules à obtenir. Le diamètre des tambours varie de 400 à 1 200 mm (figure 20). Les figures 21, 22 et 23 montrent schématiquement divers parois de tambours, divers profils d'arêtes de broyages et le cheminement du matériau dans le broyeur.

Figure 19. Particules obtenues progressivement dans un broyeur à moulinet spécial





5

Figure 20. Broyeur à double flux

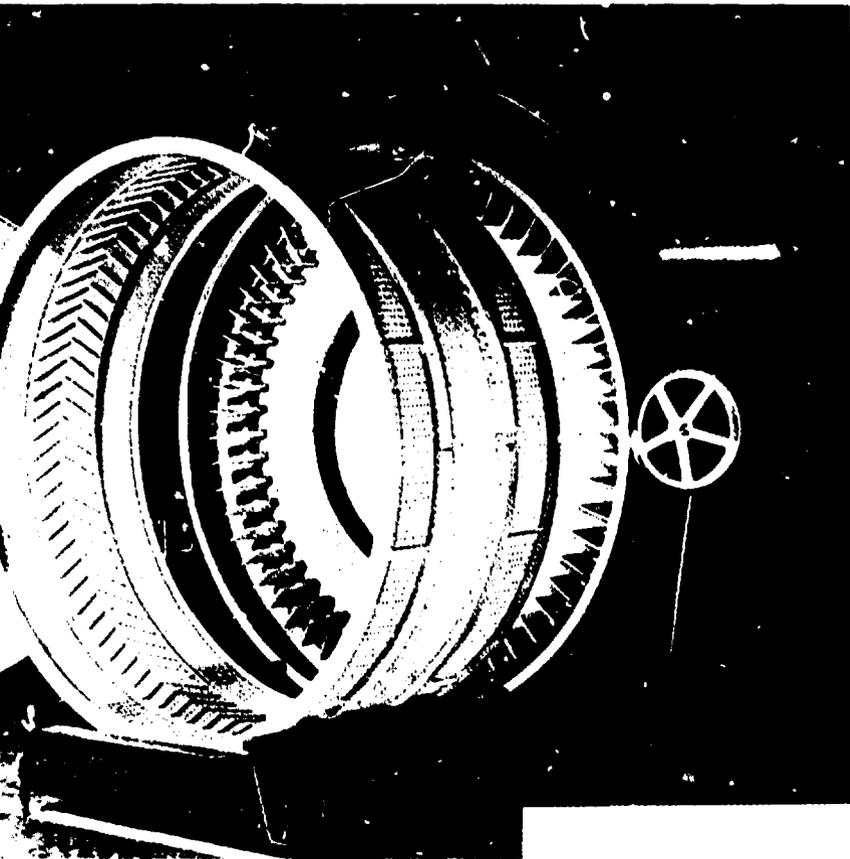


Figure 21. Types de parois

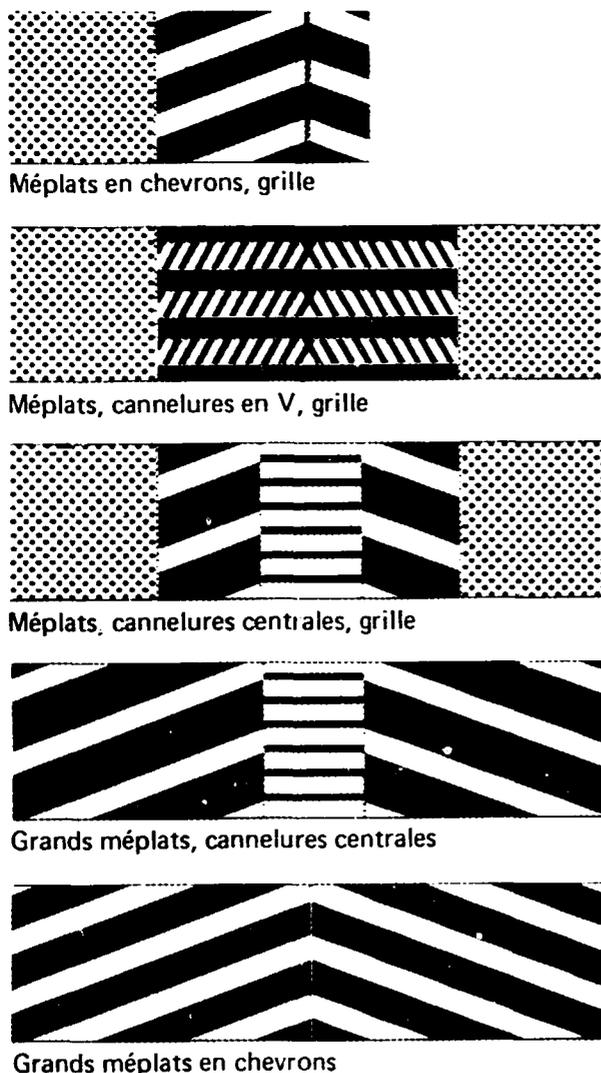


Figure 22. Profils d'arêtes de broyage

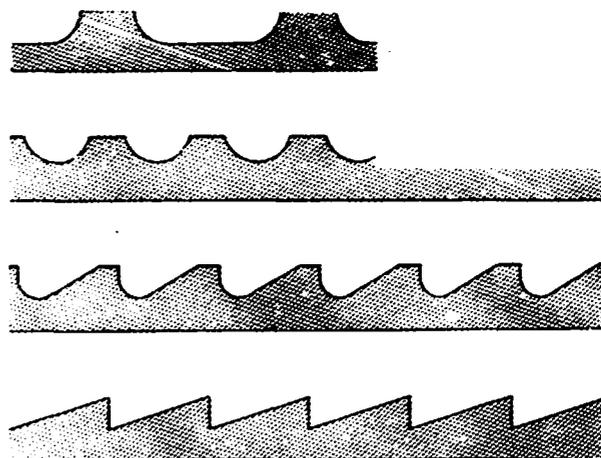
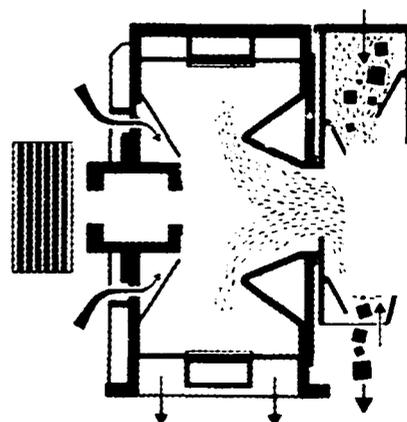


Figure 23. Cheminement du matériau



Séchoirs

Le séchage est un processus extrêmement délicat, en raison des difficultés qui peuvent résulter d'une mauvaise conception des séchoirs et, surtout, des incendies et explosions qui surviennent lorsque le régime de séchage n'est pas scrupuleusement maintenu dans les limites préétablies. Sur la base de l'expérience acquise, quelques types de séchoirs — très utilisés jusqu'à une époque récente — doivent désormais être déconseillés, notamment du point de vue de l'usure et de l'entretien. Lorsque l'humidité du matériau est élevée et variable selon les saisons, il est difficile d'obtenir une granulométrie uniforme au cours du broyage; en d'autres termes, avec un même broyeur et un même réglage, la taille des particules varie avec l'humidité du matériau. Il est donc difficile d'assurer un régime de séchage parfaitement équilibré. En conséquence, il faut installer un préséchoir qui, quelle que soit l'humidité initiale, maintient à 50-60 %, l'humidité du matériau avant qu'il entre dans les broyeurs et les séchoirs principaux. Les broyeurs sont installés entre le préséchoir et les séchoirs, de sorte que la préparation des particules s'effectue dans des conditions optimales et constantes d'humidité. En outre, les séchoirs sont ainsi plus efficaces et l'humidité finale des particules correspond exactement à la valeur requise.

Le type le plus courant de préséchoir est à cheminée verticale; la température de fonctionnement est relativement basse et l'évaporation est proportionnelle à la longueur de la cheminée (figure 24).

Pour les séchoirs proprement dits, le modèle le plus fonctionnel et le plus courant est à corps cylindrique, horizontal et rotatif: ce corps est constitué de trois cylindres concentriques et solidaires que les particules traversent successivement, avec inversion du sens de parcours, avant d'être éjectés. L'échange thermique s'effectue donc à courants égaux et le mouvement des particules est déterminé en partie par la rotation du corps cylindrique et en partie par l'effet de ventilation des gaz chauds qui le traversent (figure 25).

Un séparateur par gravité en contre-courant est habituellement installé en aval du séchoir, afin d'éliminer d'éventuelles particules étrangères plus lourdes que les particules de bois. Il est suivi d'un ventilateur puissant, construit avec des matériaux très résistants, qui envoie les particules dans un cyclone. Les silos de stockage des particules séchées doivent être équipés de détecteurs très sensibles qui déclenchent automatiquement les systèmes de lutte contre l'incendie. Les gaz chauds indispensables au séchage sont obtenus avec des comustibles liquides (mazout, gazole) ou gazeux (propane, butane, gaz naturel) et par

Figure 24. Préséchoir



combustion dans un brûleur spécial de toute la poussière de bois provenant des différentes opérations. Le réglage de la première chambre de combustion est entièrement automatisé, en fonction de la température des gaz produits et de l'humidité du bois. Toutes les conduites vers les séchoirs sont pourvues de dispositifs capables d'éviter la propagation du feu: toujours dans le but de prévenir les incendies et les explosions, le rapport anhydride carbonique/oxygène est mesuré en permanence et maintenu à un niveau de sécurité.

Pour évaluer la capacité d'un séchoir en kilos de particules séchées par heure, il est conseillé de calculer la quantité d'eau à évaporer en fonction d'humidités initiale et finale de 150 % et 3 %, respectivement. Les séchoirs courants peuvent évaporer de 2 000 à 10 000 kg/h d'eau.

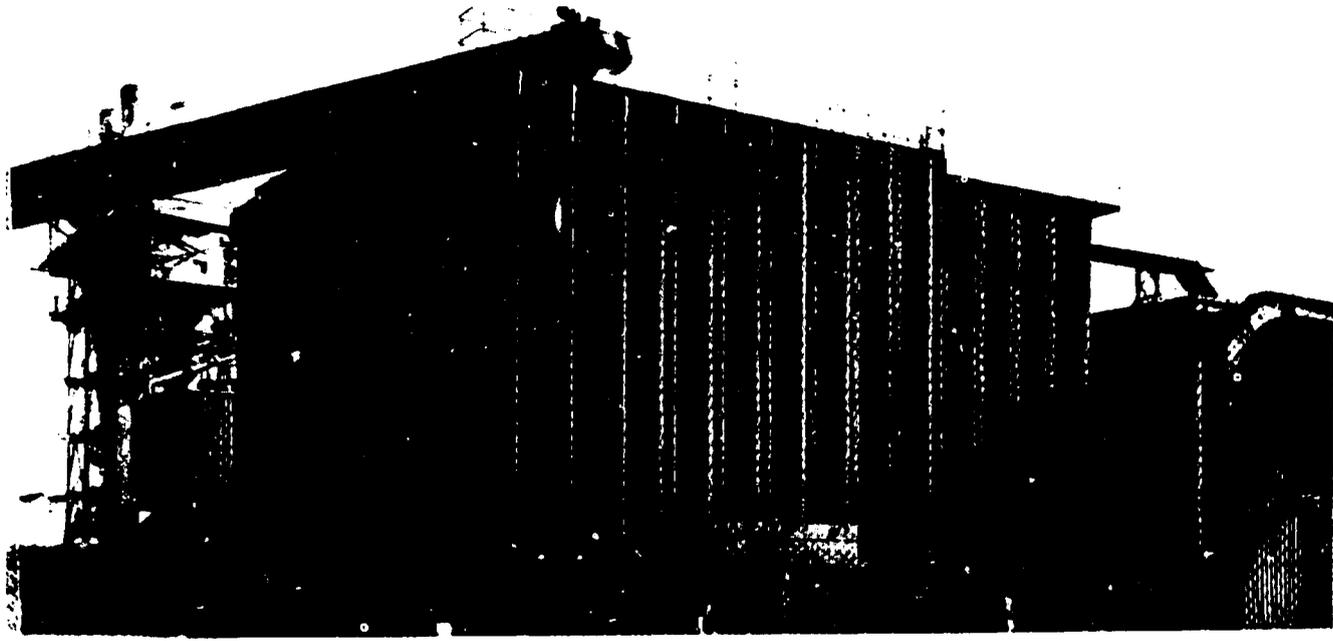
Silos

Il faut prévoir un certain nombre de silos pour le stockage des particules de différentes granulométries qui entreront dans la composition des panneaux. Leur contenance doit être telle que l'on dispose

Figure 25. Séchoir à corps cylindrique



Figure 26. Silos à particules



toujours d'une réserve de particules. D'autres silos sont nécessaires pour les matériaux en cours de transformation. La forme des silos et, surtout, le système de prélèvement dosé du matériau dépendent du contenu : la forme peut être carrée, rectangulaire ou cylindrique (figure 26); la première est préférable pour les éclats de bois et pour d'autres matériaux humides ou en début de transformation; le système d'extraction le mieux adapté à ces silos est à vérins hydrauliques disposés parallèlement sur le fond, avec transporteur transversal à vis sans fin (figures 27 et 28).

Figure 27. Silos avec transporteur à vis sans fin



Dans les silos cylindriques, l'extraction s'effectue à l'aide d'un système hydraulique à rotor tournant sur le fond et actionné par un moteur disposé à l'extérieur.

Les structures portantes et les parois internes doivent être de préférence en acier galvanisé et traité de façon à éviter toute oxydation et toute corrosion, surtout si le silo doit contenir des matériaux humides; l'intérieur doit être parfaitement lisse et sans saillies, afin d'éviter toute possibilité de formation de « ponts ». Les détecteurs et dispositifs de lutte contre l'incendie, les portes antidéflagration à ouverture rapide, les indicateurs de niveau à ultrasons sont des organes auxiliaires, mais essentiels pour la sécurité des silos.

Triage des particules

Après avoir été séchées, les particules doivent être triées selon leur granulométrie. Il faut également séparer les poussières, dont la présence nuit à la qualité des panneaux. Les particules trop grosses doivent être renvoyées au broyage.

Le triage peut être fait à l'aide de tamis à plusieurs niveaux ou de séparateurs à air. On obtient le meilleur résultat en combinant les deux systèmes. Les tamis peuvent être oscillants, vibrants ou à mouvement orbital, c'est-à-dire tournant dans un plan autour d'un axe excentrique. Ce dernier type est préférable pour les particules de bois, parce qu'il leur imprime un mouvement circulaire de translation sur les grilles, ce qui facilite la séparation et évite que les particules de forme allongée ne pénètrent par la pointe dans les mailles.

Les tamis peuvent être rectangulaires ou circulaires; la surface de chaque claie ne dépasse généralement pas 7 ou 8 m², ce qui donne, pour un tamis à trois claies, une surface totale de 21-24 m². Dans les tamis à mouvement orbital, l'excentricité est de l'ordre de 35 mm, soit un mouvement horizontal de 70 mm d'amplitude; la vitesse de rotation est de 220-250 tr/mn (figure 29).

Dans les séparateurs à air, les particules sont réparties uniformément sur toute la largeur du sépa-

Figure 28. Transporteur à vis sans fin

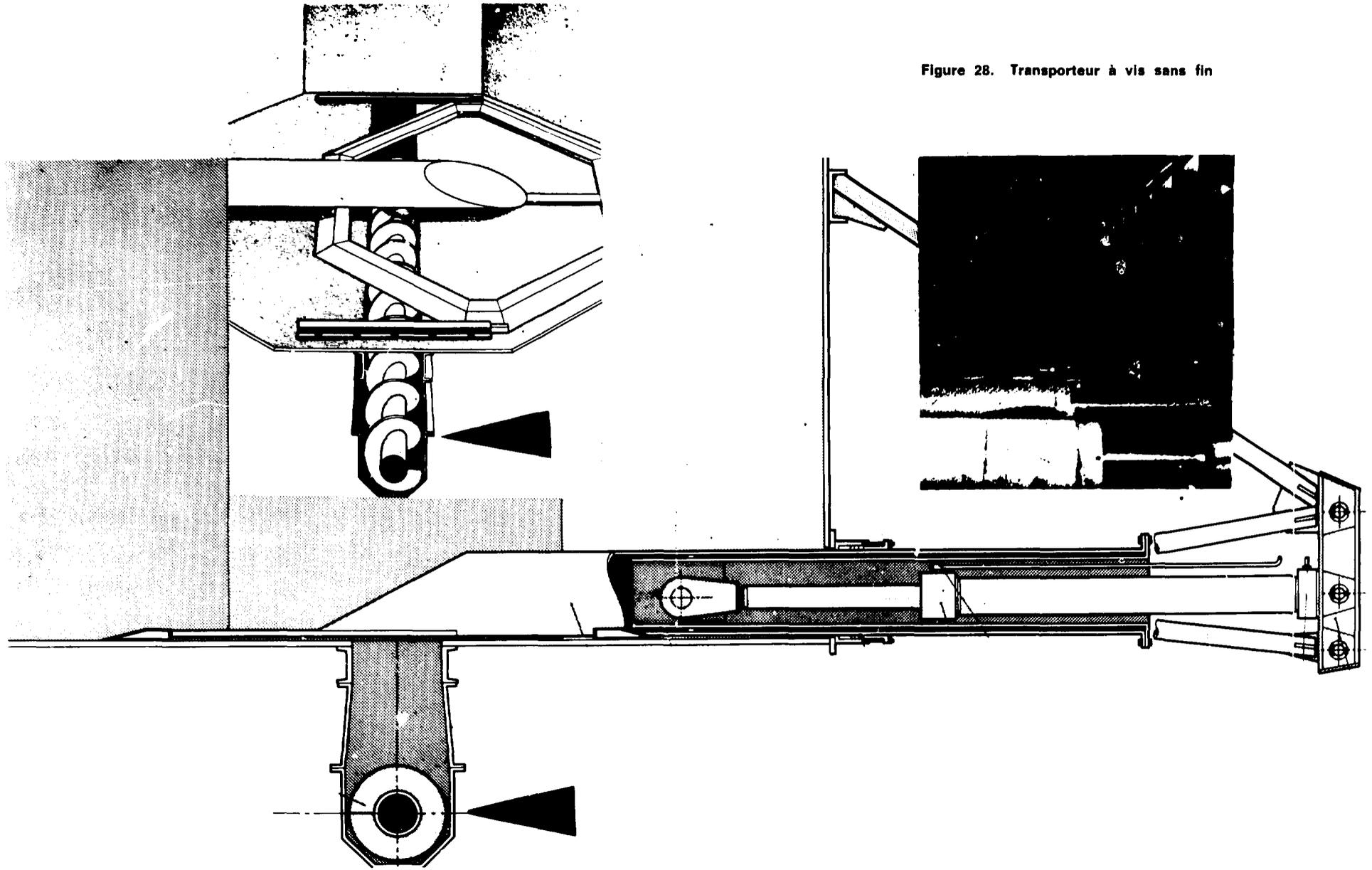
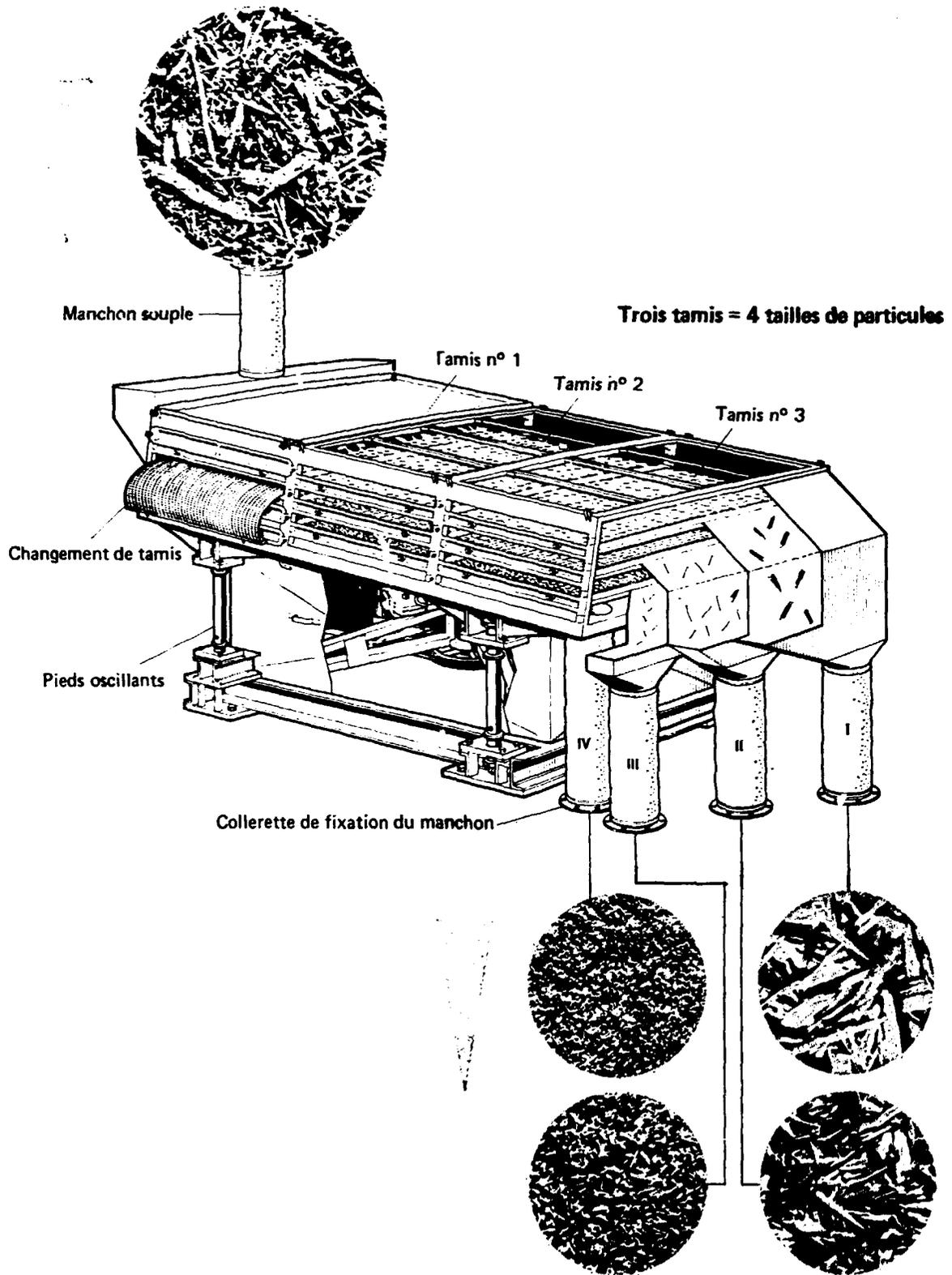


Figure 29. Schéma d'un tamis à mouvement orbital



rateur: un courant d'air horizontal entraîne les particules à une distance qui est en fonction inverse de leur granulométrie (figure 30).

La différence essentielle entre les tamis et les séparateurs à air est que les premiers séparent les particules d'après leur surface (indépendamment de leur épaisseur), tandis que les seconds les séparent d'après leur masse ou volume.

Figure 30. Séparateur à air



Préparation des agglomérants et addition aux particules

Pour fabriquer des panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques (uréiques, phénoliques ou mélaminiques), il faut tout d'abord préparer des mélanges soigneusement dosés de cinq composants. Dans le cas le plus simple, il s'agit d'une résine synthétique, d'un catalyseur (ou durcisseur), d'une émulsion de cire minérale qui confère aux panneaux une certaine imperméabilité et d'un produit chimique complémentaire qui a pour rôle de régler la vitesse de durcissement de la résine en fonction de la température atteinte par le panneau au moment du passage et de fixer l'aldéhyde formique qui se libère au cours

de cette même phase; pour les résines uréiques, ce produit peut être une solution d'ammoniaque. Le cinquième composant est de l'eau de dilution.

Les installations de préparation sont automatisées de façon à mélanger les cinq composants liquides dans des proportions données. D'autres additifs, notamment des produits contre les parasites, peuvent être incorporés au mélange. Les caractéristiques d'une bonne installation sont la simplicité de fonctionnement, la garantie de tolérances minimales dans le dosage des composants, la sécurité d'exploitation, des détecteurs optiques et acoustiques de toute irrégularité dans le fonctionnement, avec arrêt automatique en cas d'arrivée défectueuse d'un composant, la possibilité de lavages efficaces et un entretien facile. Voir les figures 31, 32 et 33.

En aval du doseur automatique, un malaxeur rapide homogénéise le mélange. Celui-ci est ensuite envoyé vers un réservoir en acier inoxydable ou autre matière qui ne soit pas attaquée par les produits chimiques du mélange. Les installations courantes de dosage et de malaxage peuvent traiter jusqu'à 7 000 kg/h de mélange.

Pour la fabrication de panneaux de particules agglomérées avec du ciment, celui-ci est introduit dans les malaxeurs à l'état solide et le dosage des produits liquides ne concerne que la préparation des solutions minéralisantes spéciales qui doivent être vaporisées sur les particules au début du malaxage. Tant pour les panneaux multiplis que pour les panneaux à granulométrie progressive, les mélanges sont différents pour l'âme et pour la surface du panneau; il faut donc disposer de deux installations distinctes de dosage et de malaxage. Tout comme les mélanges, les particules doivent être soigneusement dosées, de façon continue, avant d'être introduites dans les machines d'agglomération. Particules et agglomérants liquides sont introduits dans ces machines par des pompes doseuses de précision, dont la vitesse de rotation est réglable; particules et agglomérants solides (ciment) sont pesés de façon continue à l'aide de balances à bande automatiques (figure 34). Pour que ces balances fonctionnent correctement, les éléments de pesée ne doivent pas être en contact avec les matériaux à doser et doivent être parfaitement à l'abri des poussières; en outre, les balances doivent être relativement insensibles aux courtes fluctuations de tension du courant électrique et permettre un chargement assez élevé de la bande, afin de réduire au minimum les erreurs en pourcentage de l'étalonnage et de la pesée.

On utilise de plus des machines à coller en continu, à forte turbulence. Le mélange liant est introduit à travers l'arbre creux de la machine et est projeté, par la force centrifuge, sur les particules à travers des buses rotatives fixées sur l'arbre. Outre une répartition uniforme du liant, les caractéristiques de ces machines sont: une productivité élevée (30 t/h et plus de particules traitées), des dimensions relativement faibles, la sécurité de fonctionnement et la simplicité d'entretien. Les particules sont introduites à une des extrémités de la machine, à travers une trémie raccordée à la balance de dosage; elles la traversent axialement sous la forme d'une couche annulaire qui adhère à la paroi cylindrique interne de la machine. L'organe malaxeur consiste en un arbre creux sur lequel sont montées trois séries de bras: la première est constituée d'éléments réglables à pales inclinées, dont le rôle est de projeter les particules vers l'avant; la deuxième correspond à la section d'application du liant: les bras, percés de trous, sont reliés à l'arbre à travers duquel arrive le liant et se terminent par des buses nébulisantes; la troisième, qui correspond à la section de postencollage, a des bras particulièrement robustes de forme spéciale, dont le rôle est de projeter les particules contre la paroi et d'uniformiser ainsi la répartition du liant. La longueur des bras de la deuxième série est différenciée, de sorte que les buses pénètrent à des profondeurs différentes dans la couche annulaire; comme les particules y sont réparties en fonction de leur masse, il est possible d'adapter chaque buse pour que le liant soit appliqué de façon optimale à chaque fraction granulométrique. En raison de l'importance des frottements qui surchaufferaient la machine, ce qui provoquerait un durcissement du liant, le corps cylindrique a une double paroi dans laquelle circule de l'eau de refroidissement. Une autre eau de refroidissement est introduite dans l'arbre creux, à l'extrémité opposée à celle d'entrée du liant; elle circule dans l'arbre et dans les cavités des bras de la section de postencollage. En maintenant constante la température du malaxeur, on assure l'uniformité des conditions d'application et de distribution du liant.

Dans les malaxeurs destinés au traitement de particules fines, la première et la troisième série de bras sont pourvus d'éléments pointus qui jouent le rôle de peignes pour éviter la formation de grumeaux. Le corps cylindrique est divisé en deux parties selon un plan axial; elles sont réunies par des charnières qui permettent d'ouvrir entièrement la machine pour la nettoyer et l'entretenir facilement (figure 35).

Bien que de construction relativement simple, les machines à coller doivent être réalisées avec un soin particulier. En effet, il faut assurer une répartition uniforme du liant sur toute la surface des particules; il faut assurer une économie de liant (ce qui dépend d'un bon réglage des buses et de leur distance de l'arbre); toutes les parties rotatives doivent être autonettoyantes, afin de minimiser toute adhérence de

Figure 31. Poste de dosage automatique des composants

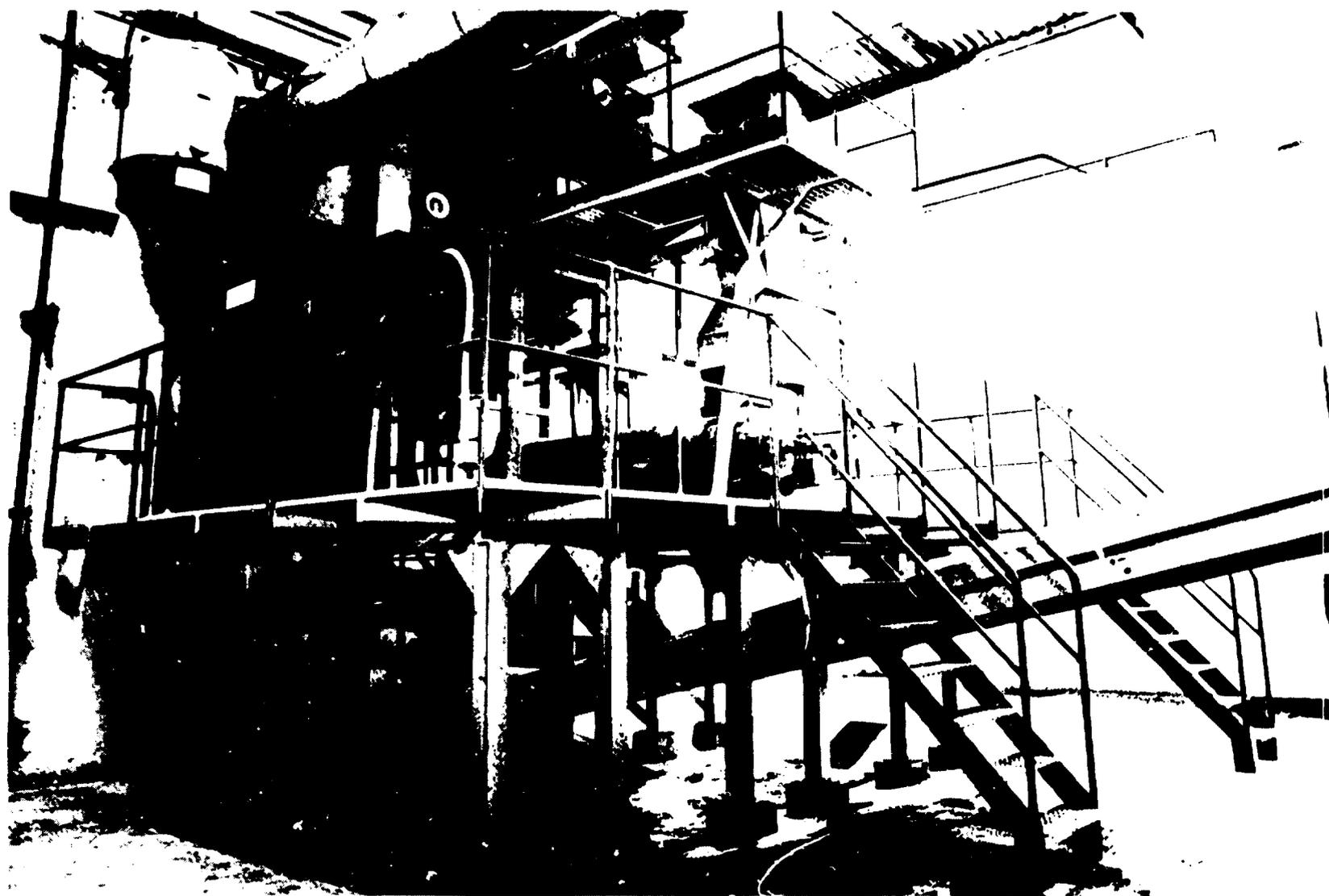


Figure 32. Schéma de dosage automatique

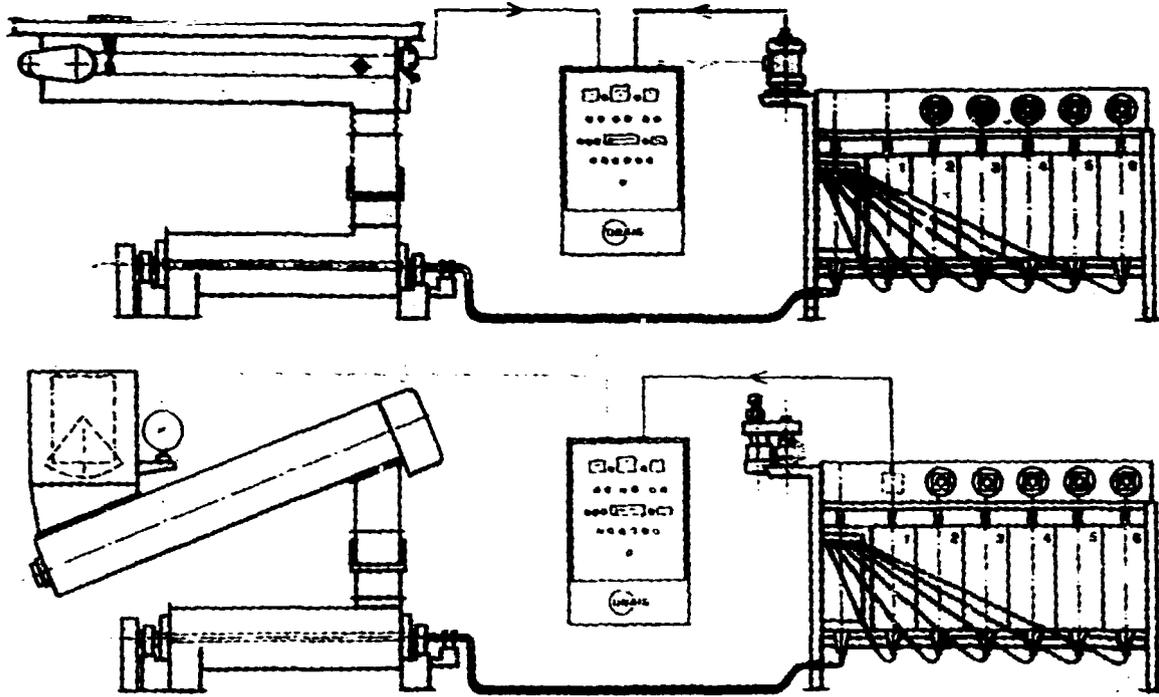


Figure 33. Dispositif de dosage automatique

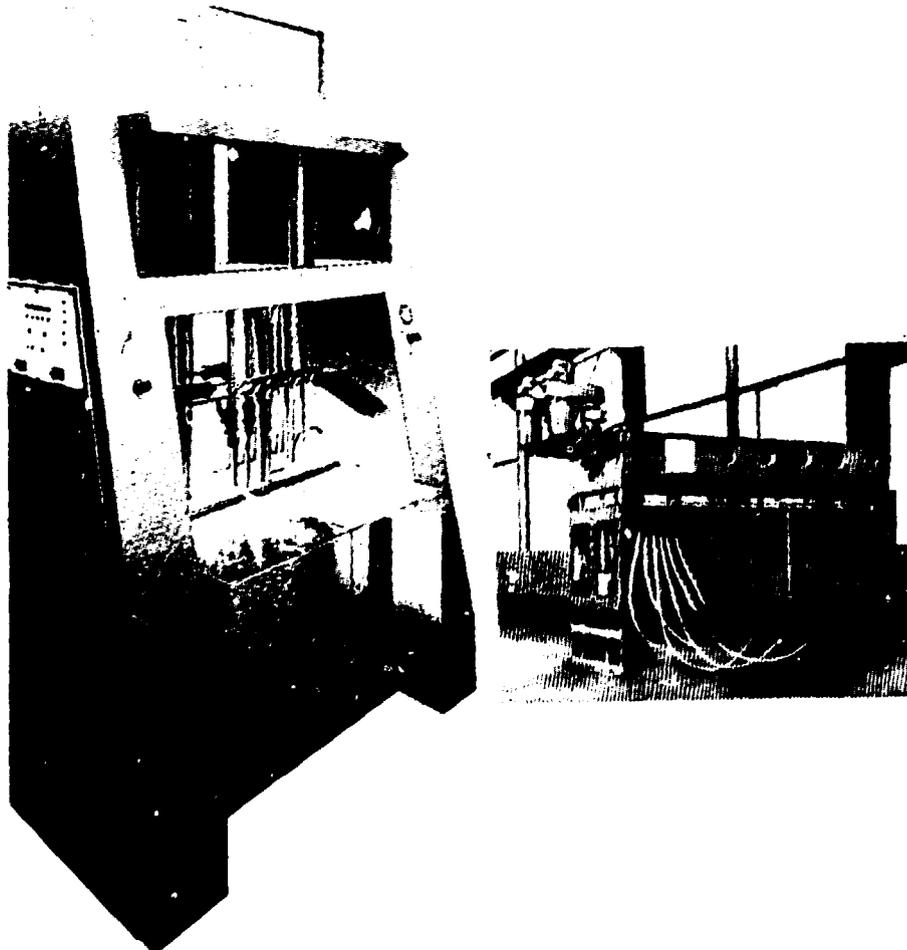


Figure 34. Balance automatique à bande (dosage particules/agglomérants)

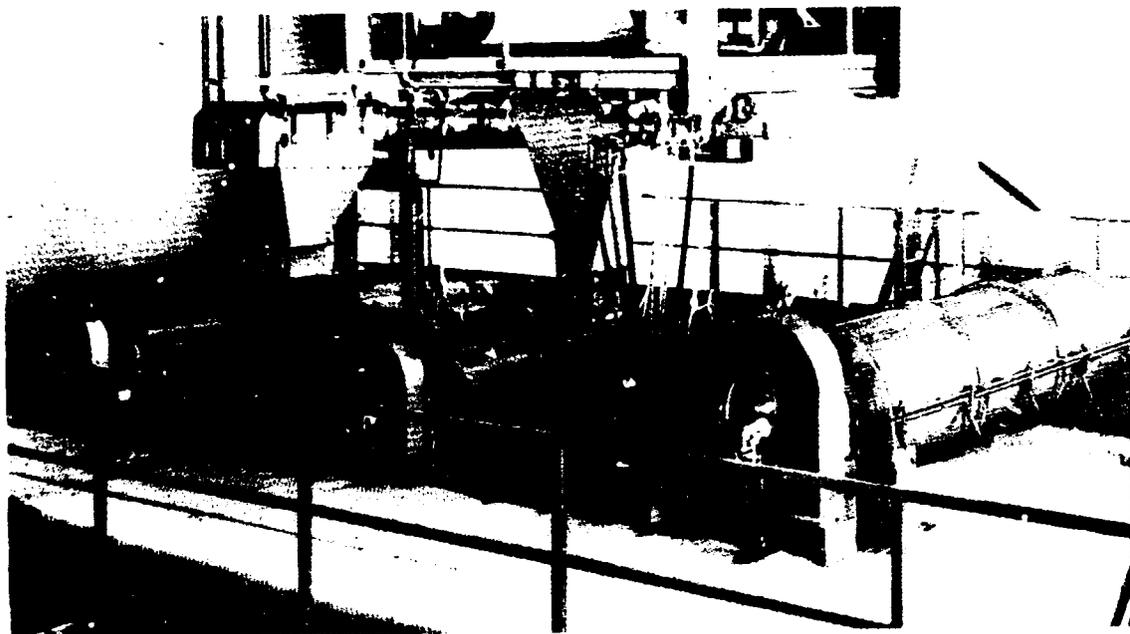
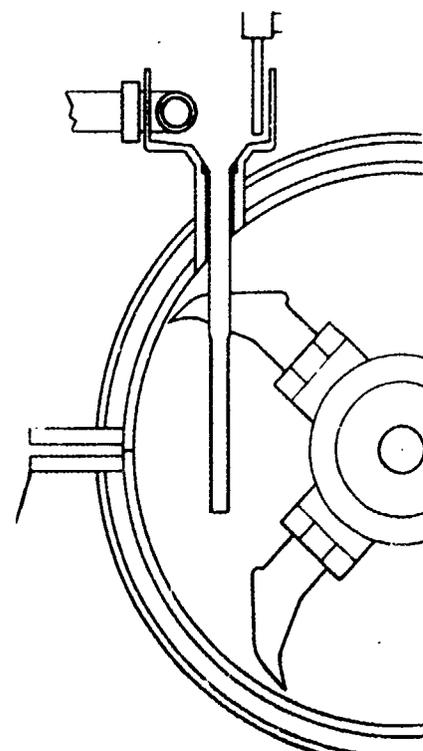


Figure 35. Malaxeur à pelgnes



Figure 36. Machine à coller : bras de projection et de malaxage



liant et assurer une température uniforme de fonctionnement. Les autres caractéristiques essentielles sont le parfait équilibrage dynamique de l'arbre, la possibilité de régler avec précision la distance entre l'extrémité de chaque série de bras et la paroi interne, la possibilité d'ajuster l'inclinaison des pales de la première série de bras. En outre, il faut que les parties les plus soumises aux frottements soient très résistantes et interchangeableables, et que les roulements soient robustes et hermétiques. La figure 36 montre le détail d'une machine. L'arbre est actionné, par l'intermédiaire de courroies trapézoïdales, par un moteur dont la puissance (de 7 à 90 kW) varie selon la capacité de la machine. Les malaxeurs pour les particules agglomérées avec du ciment ne sont pas très différents, quant à la construction, des précédents; toutefois, leur principe de fonctionnement n'est pas le même. Le ciment est introduit dans la machine à l'état de poudre; les buses rotatives près de l'entrée dans la machine servent à injecter la solution minéralisante qui est appliquée aux particules; les buses suivantes servent à injecter l'eau de dissolution. Comme il y a peu de frottement, un système de refroidissement n'est pas nécessaire. En revanche, du fait de l'action abrasive du ciment, l'extrémité des bras et la paroi interne du corps cylindrique doivent être très résistantes à l'usure.

Formation des panneaux

Dans presque tous les types d'installations, les panneaux sont formés sur un transporteur à bande mécanique dont la largeur correspond à celle des panneaux. La bande est faite en tissu de fibres synthétiques résistant aux hautes températures, ou en acier; le choix dépend des caractéristiques de la section de formage et de pressage, de l'épaisseur et de la structure des panneaux à produire et du liant utilisé. Les bandes métalliques ont l'avantage d'une meilleure conductibilité thermique et d'une plus longue durée de vie; elles ont les inconvénients suivants : possibilité de déformation, inertie thermique, imperméabilité à la vapeur, difficulté de réparation en cas d'incendie.

Les bandes en tissu ne subissent pas de dilatations thermiques et permettent de fermer plus rapidement les presses chauffées; leur absorption de chaleur est négligeable et la vapeur d'eau produite au moment du pressage peut être évacuée à travers leur trame. Ces avantages peuvent être importants dans la production de panneaux minces, avec des cycles de pressage inférieurs à 1 mn et peu de possibilités de dissipation de la vapeur à travers les panneaux. Bien que facilement réparables, les bandes en tissu ont une durée de vie bien moindre que les bandes métalliques.

Figure 37. Machine à former des panneaux



Les machines à former des panneaux ont pour rôle de distribuer les particules uniformément sur toute la surface de la bande (figure 37). Les déchets doivent être réduits au minimum. Il est également important que la machine de formation assure une épaisseur uniforme; ceci est vrai dans tous les cas, que l'on procède ou non au calibrage (rabotage) des panneaux.

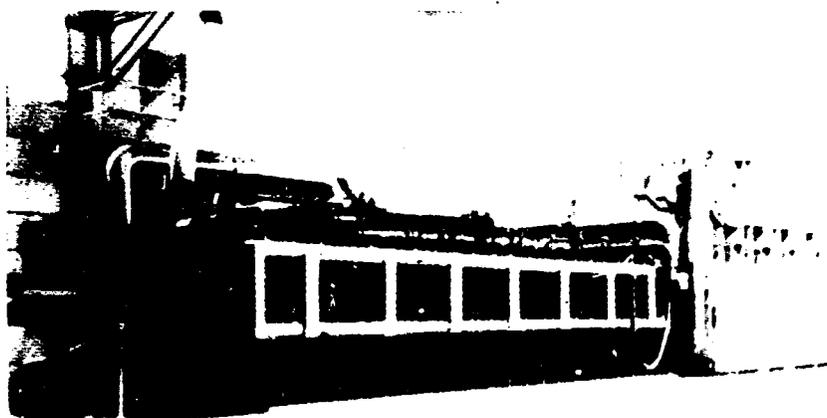
Les machines à former peuvent être fixes, lorsque c'est la bande qui se déplace sous elles, ou dotées d'un mouvement alternatif, lorsque la bande reste immobile pendant la répartition des particules. Pour

les panneaux à granulométrie progressive, une seule machine à former est suffisante. Elle est parfois utilisée en association avec un système de projection mécanique ou par courant d'air. Les particules sont projetées à une distance qui est fonction de leur granulométrie; ceci permet d'obtenir une répartition progressive des particules dans l'épaisseur du panneau. Pour les panneaux multiplis, il faut un distributeur par pli; parfois, une seule machine contient plusieurs distributeurs. Le contrôle de la masse volumique des particules qui forment le panneau, tant pour la valeur globale que pour la répartition, est assuré avec un double système volumétrique et pondéral; un autre système de réglage automatique à rayons gamma émis par un radio-isotope peut normaliser le processus de formation.

Pressage des panneaux

L'installation d'une presse préliminaire (figure 38) pour compacter les particules présente de grands avantages, même si cela complique l'agencement de l'usine et si le coût de cette presse est élevé. Elle est toujours justifiée dans les grandes usines. Outre qu'elle compacte les particules et prévient les effritements surtout sur les bords, pendant l'avance et l'introduction dans la presse principale), la presse préliminaire améliore la répartition des particules, évacue une grande partie de l'air restant entre les particules et réduit l'épaisseur du conglomérat. Ceci permet d'accélérer la fermeture de la presse principale. Au début, les presses préliminaires pour les panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques fonctionnaient à la température ambiante; récemment, on a trouvé préférable de les chauffer modérément : 60 °C pour le plateau supérieur et 70 °C pour le plateau inférieur. Ce chauffage améliore la liaison des particules et réduit le temps de pressage final. La différence entre les températures des deux plateaux a pour but de compenser l'asymétrie de l'échange thermique provoqué par la bande de transport des panneaux; cette asymétrie, surtout dans le cas de panneaux de petite ou moyenne épaisseur, se traduit par un gauchissement des panneaux sous l'effet des tensions engendrées par la polymérisation de la résine.

Figure 38. Presse préliminaire à compacter



Si la presse principale est à plusieurs étages, la vitesse opérationnelle de la presse préliminaire doit permettre de préparer la totalité des panneaux nécessaires dans le temps correspondant au cycle de pressage. Il est recommandé d'utiliser des pressions de l'ordre de 20 kg/cm², bien que l'on puisse obtenir de bons résultats avec des pressions inférieures.

Il existe également des presses préliminaires à calandre (qui ne peuvent pas être chauffées). Les rouleaux sont revêtus d'une toile caoutchoutée double, qui s'enroule autour d'eux. Elles sont plus économiques et plus rapides que les presses à plateaux, mais la pression spécifique qu'elles peuvent exercer est relativement modeste et elles ne peuvent donc servir qu'au compactage.

Il existe deux catégories principales de presses principales : les presses à action continue, qui permettent la production de panneaux sans limitation de longueur; les presses à action discontinue, dans lesquelles la longueur des plateaux détermine la longueur maximale des panneaux. La figure 39 montre une chaîne de formation de panneaux. Il existe une presse à un seul étage, spécialement équipée, qui permet d'opérer deux fois consécutives sur l'extrémité des panneaux formés et d'obtenir ainsi un panneau de longueur illimitée, à condition que le traitement ait lieu avec une succession normale des phases d'ouverture, de fermeture et de pressage. On a récemment construit des presses en continu très particulières; l'expérience acquise jusqu'à présent n'est pas suffisante pour établir si elles constituent le meilleur système

Figure 39. Schéma d'agencement d'une chaîne de formation de panneaux

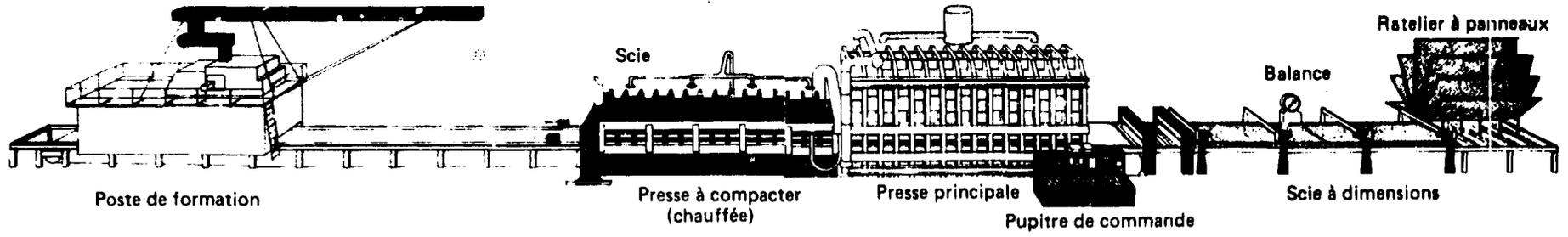


Figure 40. Schéma du processus de fabrication de panneaux de particules

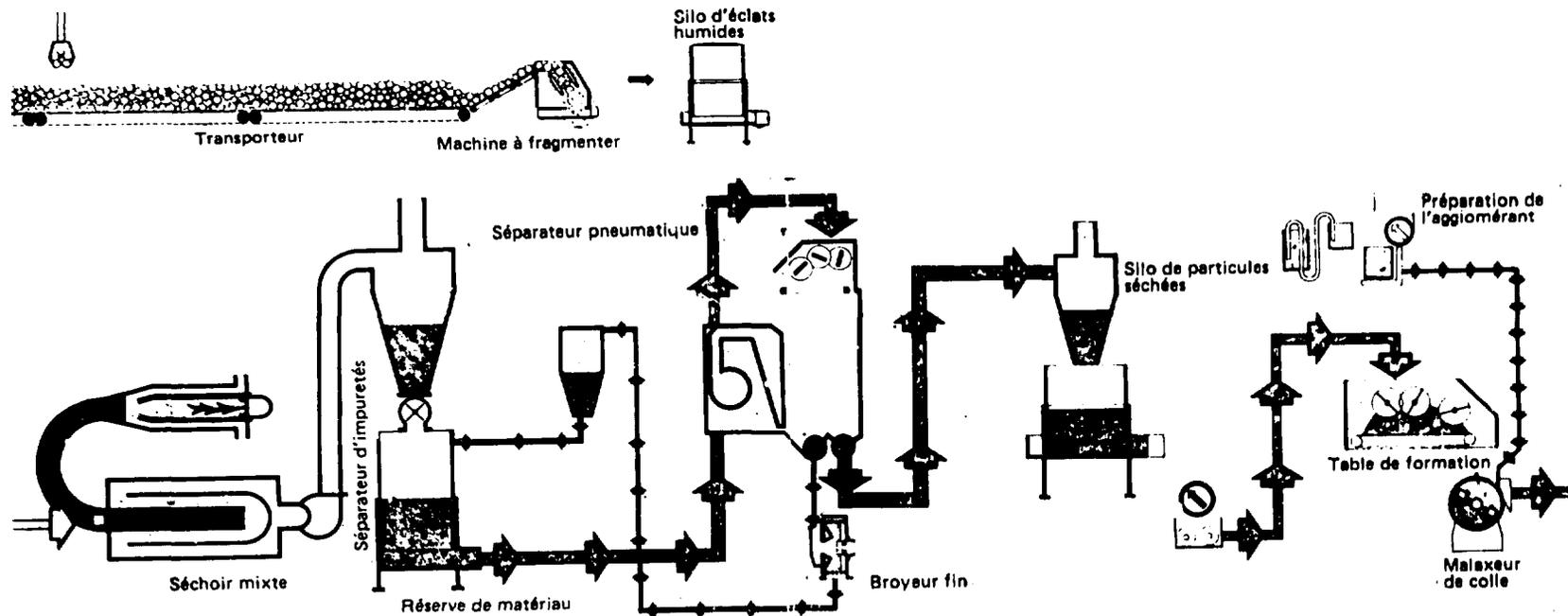
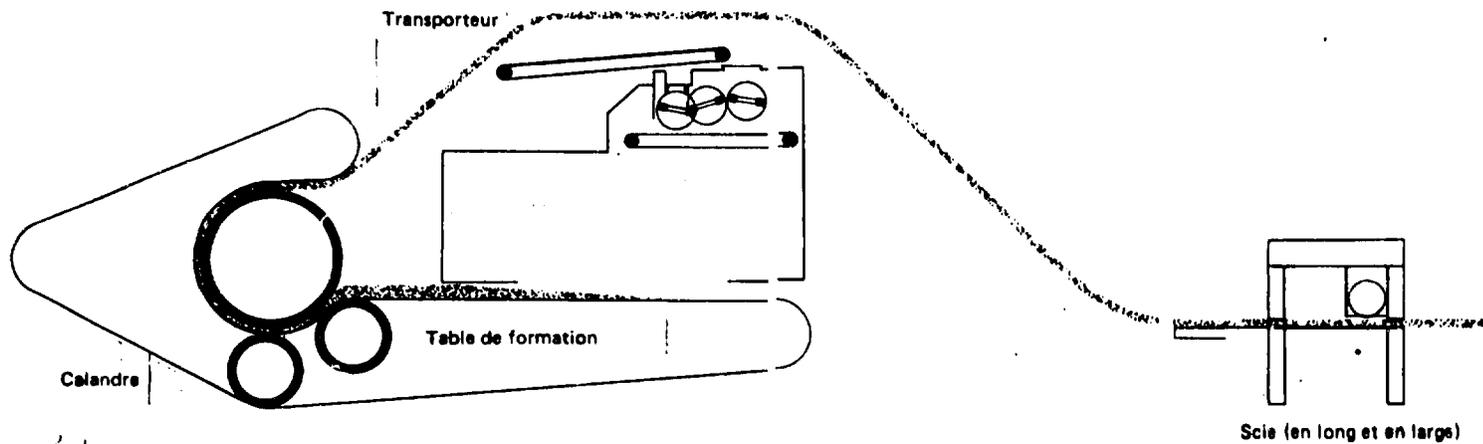


Figure 41. Presse en continu (pour panneaux minces)



de pressage des panneaux de particules agglomérées. Le processus de fabrication des panneaux de particules est schématisé dans la figure 40.

Les presses en continu sont considérées comme les plus avantageuses pour les panneaux destinés à des emplois normaux, c'est-à-dire des panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques ordinaires et ayant une épaisseur comprise entre 2,5 et 7 mm. Une telle presse est schématisée dans la figure 41.

Avec ces presses, le panneau est formé sur une bande en acier, pour être ensuite enroulé, sans pressage préliminaire, autour d'un tambour principal chauffé à l'intérieur et porté à la température requise pour une polymérisation rapide de la résine. La pression nécessaire est exercée par des rouleaux qui compriment la masse des particules contre le tambour principal; ces rouleaux sont également chauffés intérieurement, ce qui permet de travailler dans des conditions de symétrie thermique. Ces rouleaux sont suivis de rouleaux calibreurs, non chauffés, qui complètent le pressage et qui, agissant sur le panneau qui est encore dans des conditions de plasticité relative, déterminent son épaisseur dans de bonnes limites de tolérances (de l'ordre de 0,2 mm). La bande de formation se sépare alors du panneau et revient au poste de formation, en passant sur des rouleaux guides et des tendeurs, tandis que le panneau est acheminé par d'autres rouleaux guides sur une piste de glissement vers les opérations de finissage. La vitesse d'avance est réglable et varie entre 3,5 et 21 m/mn, selon l'épaisseur du panneau et les caractéristiques du liant. Le chauffage du tambour et des rouleaux de pression est obtenu par circulation d'huile portée à la température voulue par une chaudière attenante à l'installation; la température de chaque élément peut être réglée grâce à des dispositifs indépendants. Le diamètre du tambour est de 3 000 mm et la largeur de la bande permet de produire des panneaux de 2 500 mm et plus. La capacité de production d'une presse en continu peut atteindre 150 m³ par jour, avec des panneaux d'une largeur maximale.

Les presses à plateaux chauffés pour la production de panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques peuvent être à un seul étage, auquel cas elles doivent atteindre des dimensions considérables (30 m de long et 2,65 m de large) pour avoir une productivité élevée tout en ne pressant qu'un panneau à la fois, ou à plusieurs étages, auquel cas elles sont nécessairement équipées de chargeurs et de déchargeurs automatiques des panneaux. La figure 42 montre une scie à dimensions à la sortie de la presse. La figure 43 montre des presses à plateaux chauffés, avec leur pupitre de commande.

Comme les techniques modernes permettent de construire des plateaux chauffables de très grand format, tout en assurant la plus grande précision de fonctionnement, la tendance actuelle est de préférer les presses à un seul étage, car elles sont incontestablement plus simples et plus faciles à commander. Les presses à plusieurs étages exigent, en plus des appareils de chargement et de déchargement automatiques, des dispositifs complexes pour la fermeture simultanée des plateaux; de plus, le contrôle des épaisseurs et le réglage uniforme de la température de tous les plateaux posent des problèmes assez délicats. Les presses à plateaux sont caractérisées par la pression spécifique de travail (qu'il convient de maintenir à au moins 30 kg/cm²), la vitesse de fermeture, la répartition exacte de la pression hydraulique, la robustesse de la structure (qu'elle soit en acier ou du type à colonnes), l'épaisseur des plateaux (qui normalement n'est pas inférieure à 80 mm pour assurer une rigidité suffisante et une inertie thermique appropriée) et les dispositifs de contrôle de l'épaisseur des panneaux.

Ont également une grande importance : l'usinage précis des surfaces des plateaux; le système et la précision des perforations pour la circulation du fluide chauffant (eau surchauffée ou, de préférence, huile thermique) étant donné que quelques degrés seulement de différence de température entre un point et un autre des plateaux peuvent entraîner de sensibles irrégularités d'épaisseur et de qualité des panneaux; l'isolation thermique entre les plateaux et les structures de la presse, pour éviter toute transmission de chaleur qui entraînerait des dilatations et des déformations.

Toutes ces caractéristiques et la température élevée de chauffage des plateaux (normalement plus de 200 °C) permettent de réduire les temps de pressage de 10 s/mm d'épaisseur du panneau et de maintenir l'excédent d'épaisseur à éliminer dans la limite de 0,4 mm; cet excédent est éliminé au cours de l'opération de ponçage-calibrage.

Dans la production de panneaux de particules agglomérées avec du ciment, la presse a pour seul rôle de les amener au degré voulu de compacité. La prise du liant n'est assurée qu'au cours de phases successives, dans des chambres maintenues dans des conditions appropriées de température et d'humidité. Les presses n'ont donc pas de plateaux chauffés et sont caractérisées par un étage de grande ouverture, car les panneaux à presser sont introduits par paquets, sur des supports en acier.

La figure 44 montre l'agencement d'une installation de fabrication de panneaux de fibres de moyenne densité (mdf), qui est dans ses grandes lignes semblable à une usine de fabrication de panneaux de particules.

Figure 42.



Scie pour coupe longitudinale et transversale des panneaux

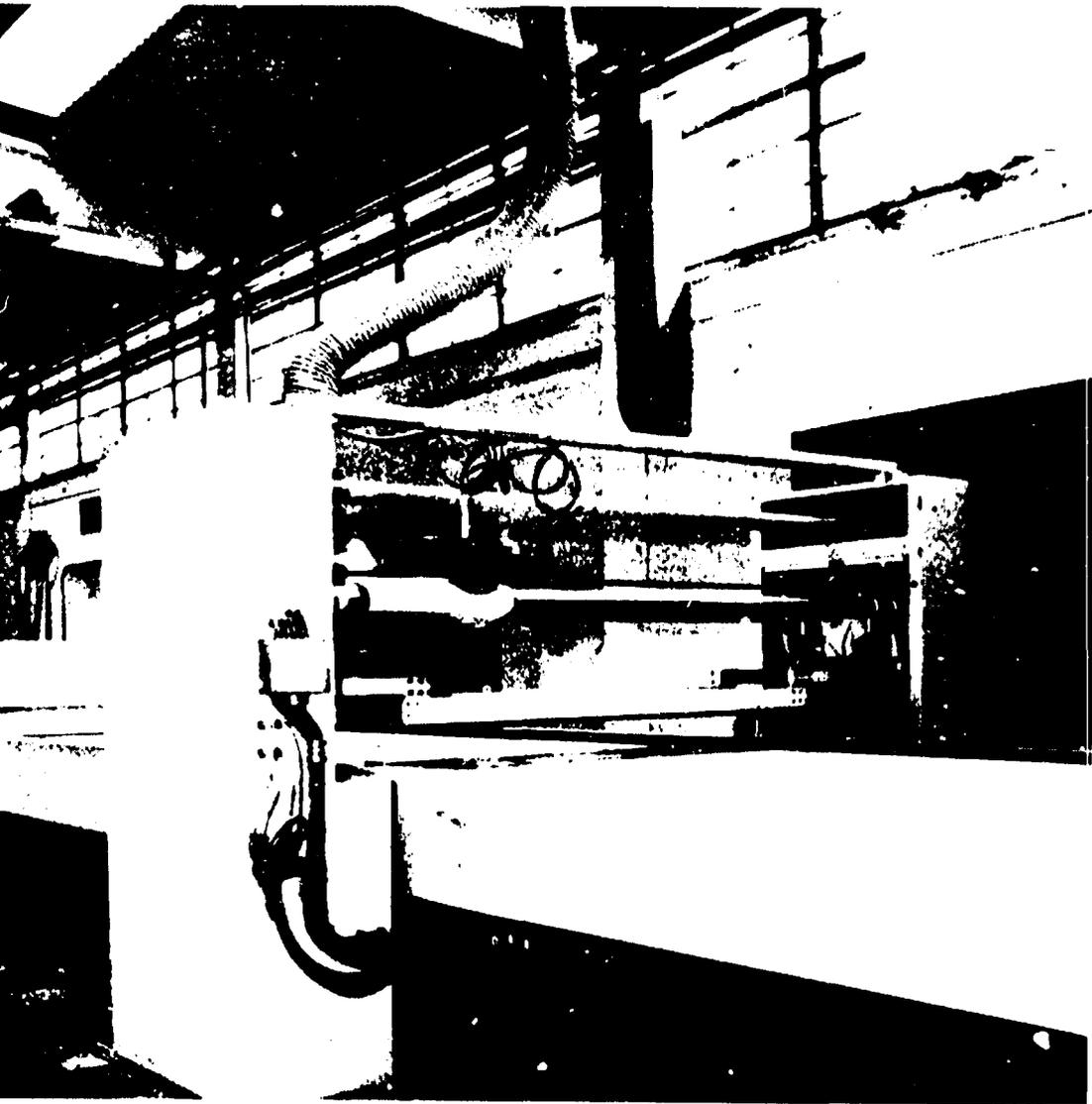


Figure 43. Presses à plateaux chauffés, avec pupitre de commande

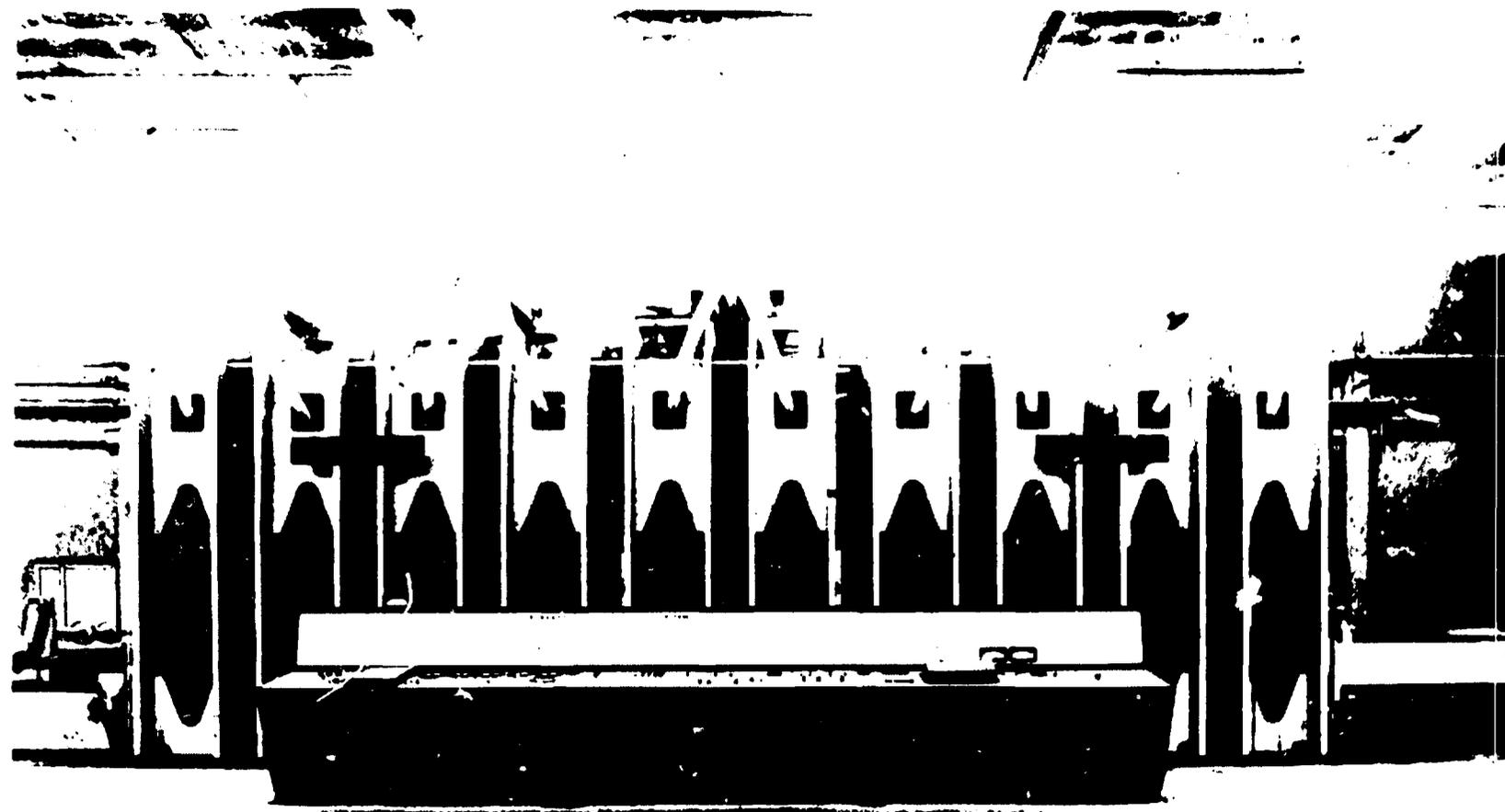
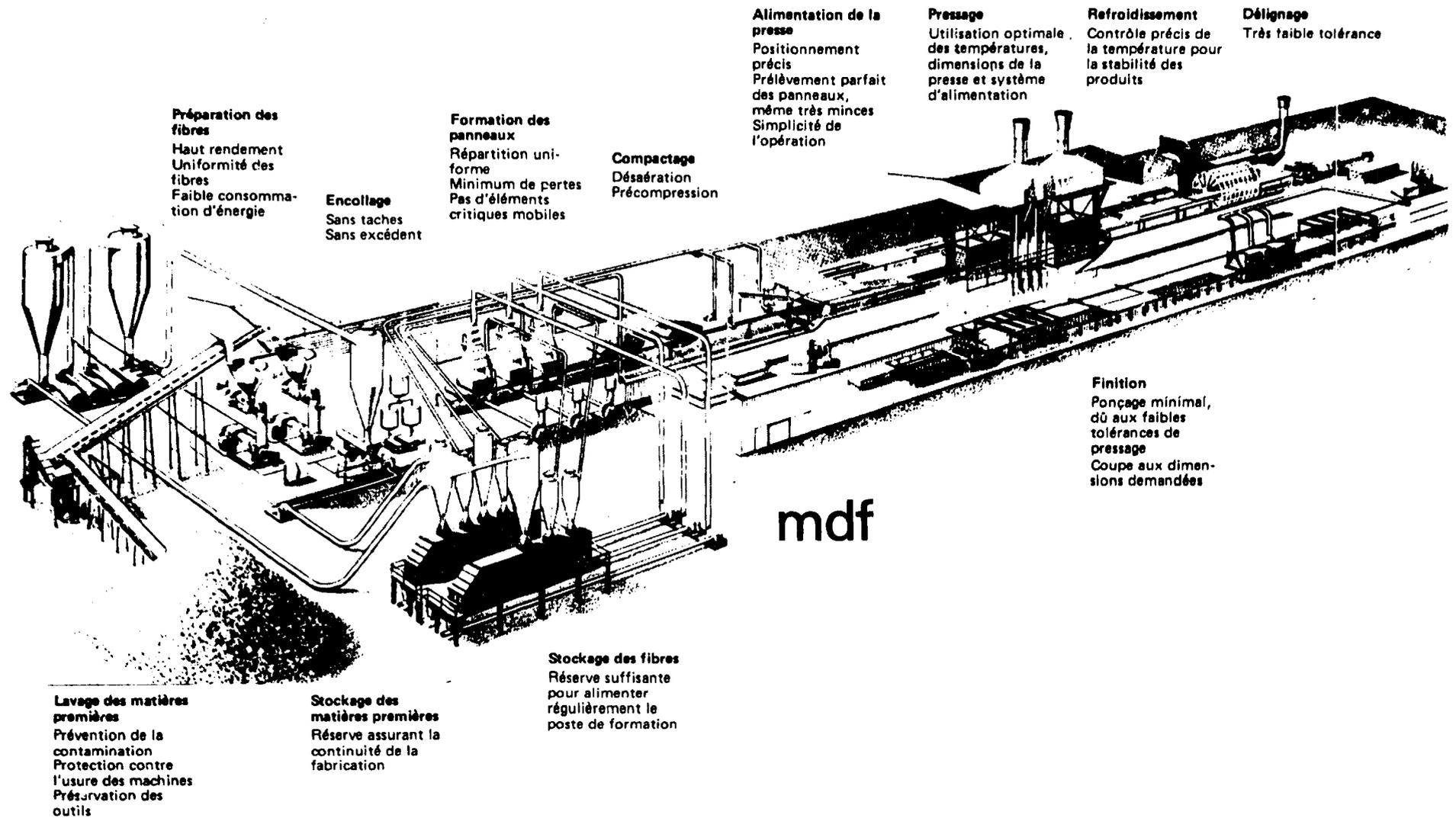


Figure 44. Agencement d'une installation de fabrication de panneaux de fibres de moyenne densité



Contrôles et opérations suivant immédiatement le pressage des panneaux

Pour les panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques, il faut installer immédiatement après la presse principale des appareils pour contrôler l'épaisseur en divers points et le poids. Ces appareils automatiques enregistrent graphiquement tous les résultats et signalent immédiatement toute irrégularité.

Les panneaux ne peuvent pas être entassés tant que leur température reste élevée, car cela pourrait provoquer des dégradations et des tensions internes déformantes; il faut attendre qu'ils soient suffisamment refroidis : le système le plus simple et le plus efficace pour accélérer ce processus est celui des râteliers rotatifs, dans lesquels les panneaux sont disposés radialement et se refroidissent également sur les deux faces pendant un tour complet de l'appareil (figure 45). Avant le ponçage, les panneaux sont généralement entreposés dans une zone de stockage temporaire, comme le montre la figure 46.

Figure 45. Refroidissement des panneaux sur râteliers rotatifs

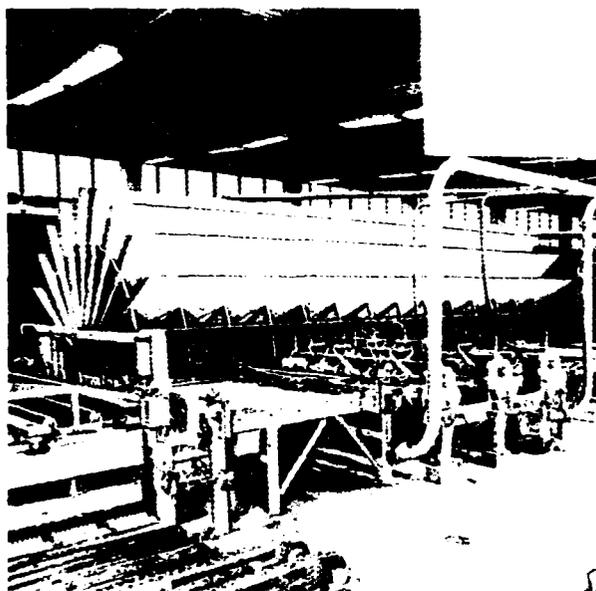


Figure 46. Stockage des panneaux sur rouleaux avant ponçage



Figure 47. Ponceuse à deux bandes larges

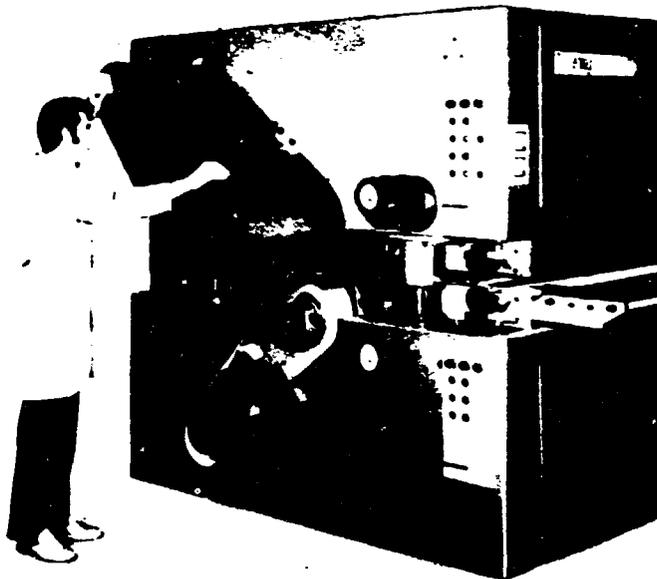
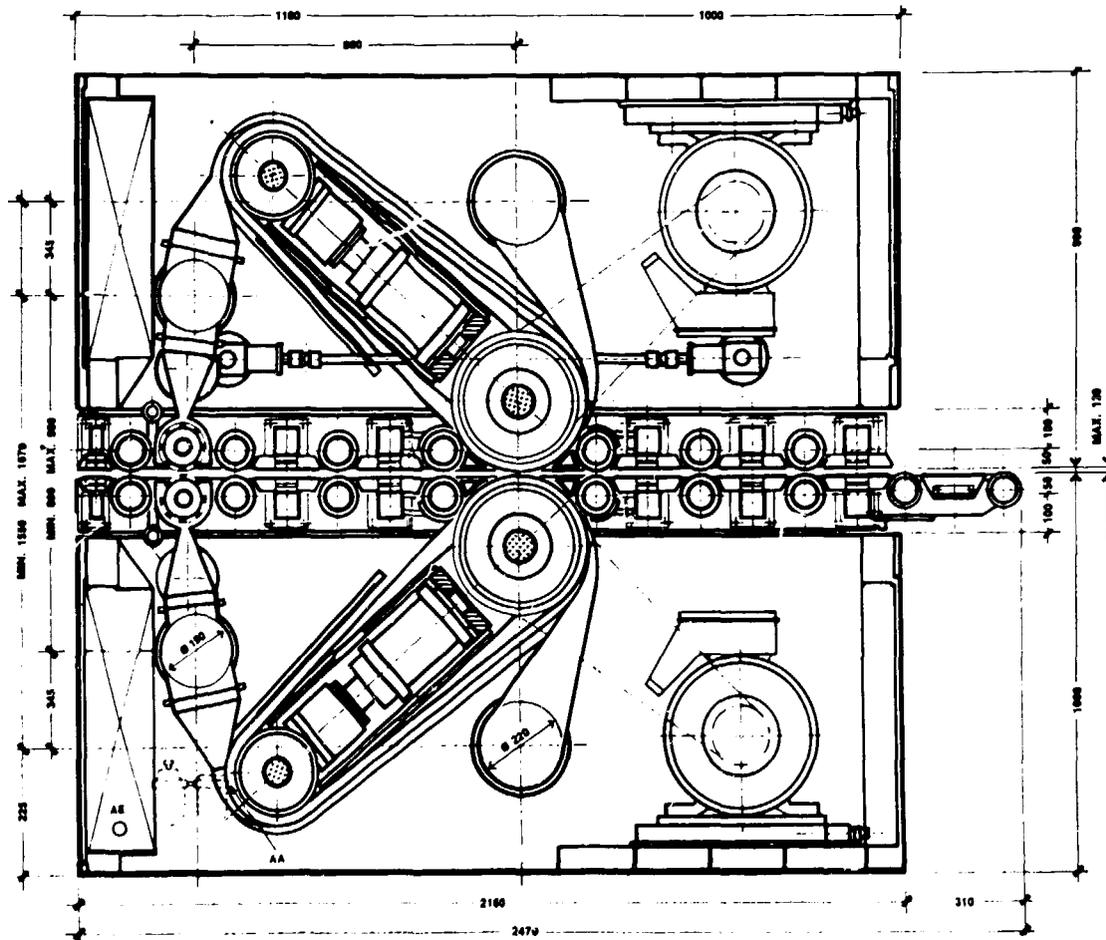


Figure 48. Coupe d'une ponceuse à bandes larges



Finition des panneaux

Les travaux de finition des panneaux sont essentiellement : coupe d'équerre (si les panneaux sont de format normal à la sortie de la presse), les coupes simultanées d'équerre et à dimension (si les panneaux sont de grandes dimensions et que leur format doit donc être réduit), le ponçage et le calibrage. Parmi les diverses délignieuses, les plus efficaces sont celles qui opèrent en continu, c'est-à-dire sans que les panneaux s'arrêtent, et les coupent simultanément sur les quatre côtés. On utilise des scies circulaires à lames à mise rapportée en carbure de tungstène, qui permettent de réduire sensiblement la fréquence des affûtages. La coupe transversale est effectuée par une lame montée sur un chariot coulissant le long d'une ligne directrice inclinée : l'angle d'inclinaison est tel que la résultante des deux vitesses (avance des panneaux et translation du chariot) est exactement orthogonale à l'axe longitudinal. Le même principe est appliqué pour les scies de panneaux. Dans le cas d'usines équipées de presses à calandre pour la production de panneaux de faible ou moyenne épaisseur, les scies de coupe à dimension et d'équerre sont installées immédiatement après la presse, et tous les travaux de finition sont faits simultanément. Dans d'autres usines équipées de presses à plateaux, la coupe d'équerre et tous autres travaux requis peuvent être faits avec des machines qui travaillent sur plusieurs panneaux superposés, ce qui se traduit par une productivité élevée.

Le ponçage est indispensable si la surface des panneaux doit être soigneusement régularisée pour d'autres travaux de finition et si l'épaisseur doit être uniforme et dans les limites de tolérance. Les ponceuses généralement utilisées pour les panneaux de particules sont à bande large, du type « à contact »; leur vitesse de travail est très élevée et elles donnent d'excellents résultats. Les autres types de ponceuses, en particulier la ponceuse à rouleaux, sont de plus en plus abandonnés. Les figures 47 et 48 donnent une vue générale et une coupe d'une ponceuse à bande.

Dans les machines « à contact », l'élément abrasif souple est une ceinture sans fin montée sur une paire de cylindres, dont l'un assure le contact avec le cylindre et l'autre joue le rôle de tendeur. Ces dispositifs sont montés par couples opposés, de sorte que l'on peut procéder simultanément au ponçage des deux faces du panneau; on peut monter deux ou trois couples en succession : le premier, à gros grain, effectue le calibrage, tandis que les autres, à grain plus fin, polissent les surfaces. La vitesse de travail est élevée et peut atteindre — dans le cas de panneaux de faible épaisseur, où il faut enlever peu de matières — 30 m/mn. Chaque cylindre est actionné par un moteur ayant une puissance de l'ordre de 30 kW.

Données techniques relatives à quelques installations et à des types particuliers de panneaux de particules : considérations sur leurs caractéristiques

Pour compléter ce chapitre, on donne ci-après quelques données techniques sur les usines équipées de presses à calandre pour la production en continu de panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques, ainsi que sur des usines fabriquant des panneaux de particules agglomérées avec du ciment.

Installations pour la production en continu de panneaux de particules minces

Par panneaux minces, on entend ceux dont l'épaisseur est comprise entre 2,5 et 7 mm. Les installations courantes permettent des largeurs de panneaux finis allant de 1 300 à 2 500 mm. Toutes autres conditions égales par ailleurs, la production quotidienne est proportionnelle à la longueur des panneaux; les valeurs correspondant aux deux dimensions ci-dessus sont, respectivement, de 80 m³ et 150 m³.

Il est évident que la consommation d'énergie et la main-d'œuvre requise par m³ de produit diminue quand augmente la capacité de l'installation :

Les besoins en énergie électrique varient de 205 kWh/m³ dans les petites installations à 150 kWh/m³ dans les grandes;

Les besoins en chaleur varient, respectivement, de 600 Mcal/m³ à 800 Mcal/m³ (2 510 à 3 350 MJ/m³);

Les heures de travail varient de 2,9 à 1,5 par mètre cube.

En revanche, les besoins ci-après sont indépendants de la capacité de l'usine :

Huile lourde, environ 90 kg par mètre cube;

Eau de refroidissement, 4,5 m³ par mètre cube;

Air comprimé, 25-30 m³ par mètre cube.

Afin d'assurer des caractéristiques élastomécaniques appropriées aux panneaux, la teneur en résines synthétiques doit être légèrement supérieure à celle qui est nécessaire avec les presses à plateaux. Avec les résines d'urée-formaldéhyde, le pourcentage de durcisseur et de paraffine ajoutés pour conférer un certain caractère hydrofuge représente 12 % du poids de matière anhydre. Les caractéristiques mécaniques ci-après sont typiques :

La masse volumique des panneaux est au moins de 700 kg/m³, selon l'épaisseur;

La résistance à la flexion varie de 220-240 kg/cm³ pour une épaisseur de 2,5 mm à 280-300 kg/cm³ pour une épaisseur de 7 mm;

La résistance à la traction transversale (perpendiculairement aux faces) est pratiquement indépendante de l'épaisseur; elle est comprise entre 6 et 8 kg/cm²;

Le gonflement par immersion dans l'eau est en moyenne de 6 % après 2 heures et de 15 % après 24 heures;

Avec des machines bien réglées, la tolérance d'épaisseur à la sortie de la presse peut être de $\pm 0,2$ mm.

Les panneaux minces trouvent leurs principales applications dans les domaines suivants : fabrication de portes planes, comme supports de placage ou de revêtements en matières plastiques; fabrication de meubles, comme panneaux arrières ou fonds de tiroirs; fabrication de panneaux lattés, comme revêtements à la place d'un placage; industrie des emballages.

La production de panneaux de particules minces augmente régulièrement dans le monde entier, dans une proportion supérieure à celle des panneaux plus épais. Cependant, ils présentent quelques inconvénients, et les entrepreneurs qui veulent construire une nouvelle usine doivent s'efforcer de limiter ces inconvénients. Les plus courants sont :

a) Une certaine tendance au gauchissement, qui est due aux conditions dans lesquelles les panneaux sont pressés avec le système à calandre; cette tendance peut être négligeable si les panneaux sont de petites dimensions, mais elle pose des problèmes avec les panneaux de grand format;

b) La fragilité, due à une flexibilité limitée;

c) L'irrégularité d'absorption quand les surfaces sont peintes, vernies ou collées, du fait que la répartition de la résine n'est pas homogène.

La demande porte de plus en plus sur des panneaux de grande qualité, car ils sont de plus en plus utilisés avec un revêtement de matières plastiques dures ou de stratifiés très minces. De l'avis général, une étude plus poussée de la granulométrie et de la forme des particules, des liants et des détails de construction des encolleuses permettrait d'obtenir des améliorations sensibles.

Installations pour la fabrication de panneaux de particules agglomérées avec du ciment

Ces panneaux, de masse volumique élevée, ont une épaisseur qui va normalement de 6 à 40 mm; les formats les plus courants sont : 125 × 280 cm, 125 × 320 cm ou 183 × 360 cm. Ils correspondent aux modules utilisés dans le bâtiment.

Sur la base d'une journée de travail de 21 heures, en 3 équipes, la capacité de production d'une usine varie de 50 à 200 m³ par jour. La masse volumique est fonction de l'épaisseur; elle peut atteindre 1 400 kg/m³ pour les petites épaisseurs et descendre à 1 100 kg/m³ pour les très grosses épaisseurs. La technologie de production évolue, dans le but de réduire sensiblement ces valeurs et d'améliorer en même temps l'isolation thermique. Le ciment généralement utilisé est celui qui est défini dans les normes allemandes sous le sigle PZ450 F, mais on peut prévoir l'utilisation prochaine de ciments spéciaux ayant de meilleures propriétés agglomérantes et une prise plus rapide.

Les besoins énergétiques unitaires sont les suivants :

Energie électrique, 190-200 kWh/m³

Energie thermique, 380-390 Mcal/m³ (1 590-1 630 MJ/m³)

Comme toujours, la main-d'oeuvre nécessaire diminue lorsque la capacité de production augmente; les besoins peuvent tomber à 4 heures de travail par m³.

Les besoins en matières premières sont environ :

Bois, 280 kg/m³ (anhydre)

Ciment, 770 kg/m³

Additifs chimiques (pour le traitement des particules), 50 kg/m³

Eau, 500 l/m³

La résistance à la flexion, qui dépend de l'épaisseur et de la masse volumique, est comprise entre 120 et 180 kg/cm²; la résistance à la compression est d'environ 150 kg/cm² et la résistance à la traction transversale varie de 6 à 9 kg/cm². Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles qui caractérisent les panneaux de particules agglomérées avec des résines synthétiques. En revanche, il est intéressant de noter que le gonflement par immersion dans l'eau est très faible : 0,2-0,6 % après 2 heures; 0,6-1,2 % après 24 heures. La conductibilité thermique est de 0,155 kcal · m⁻¹ · h⁻¹ · °C⁻¹ (180 mW · m⁻¹ · °C⁻¹). La résistance à l'arrachement d'un clou ou d'une vis enfoncés de 18 mm dans le panneau est, respectivement, de 50 et 140 kg (clou de 2,5 mm de diamètre, vis de 3,5 mm de diamètre). Le comportement aux intempéries, au gel et au feu est excellent. La dégradation biologique est nulle. Ces caractéristiques rendent ces panneaux particulièrement intéressants pour l'industrie du bâtiment. Les surfaces sont lisses et compactes et se prêtent parfaitement à tous genres de revêtements : teintures à l'eau, vernis ou tout autre type de matériau. Du fait de la structure hétérogène et de la masse volumique élevée, les qualités d'isolation acoustique sont très satisfaisantes; l'absorption des sons est de 32 dB par panneau de 12 mm d'épaisseur. La perméabilité à l'air est de 1,32 l · min⁻¹ · m⁻² pour une différence de pression de 1,33 mbar.

Les principales utilisations de ces panneaux sont : coffrages perdus et auto-incorporants, hourdis, fondations de parquets, portes de cave ou autres lieux humides, bâtiments agricoles, panneaux de route, etc.

XII. Critères pour le choix des machines à faire les placages*

Par « placages » on entend de minces feuilles de bois de qualité, dont l'épaisseur varie habituellement de quelques dixièmes de millimètres à plus de 1 millimètre; on les obtient généralement par tranchage, parfois par déroulage. Les placages sont utilisés surtout pour le revêtement décoratif de meubles ou de panneaux.

Méthodes de travail

Les grumes destinées au tranchage ou au déroulage proviennent d'essences rares et sont choisies avec soin, car la qualité du bois influe incontestablement sur la valeur commerciale du placage. Les grumes sont tout d'abord écorcées, puis débitées en deux ou en quatre parties dans le sens longitudinal; cette opération demande une grande expérience; elle est très importante, car elle conditionne les résultats du tranchage. Ensuite, les pièces débitées passent normalement à l'étuvage ou au traitement hydrothermique; en effet, les grumes d'essences dures ou semi-dures (qui constituent la plupart des bois de placage) ne peuvent être tranchées qu'après avoir été préalablement soumises à un traitement thermique. Enfin, les pièces sont mises en feuilles; les méthodes de tranchages sont variées et on les choisit en fonction de l'essence ligneuse ou des besoins du marché; selon le plan de tranchage, on obtient des placages à veines régulières ou avec des dessins variés. Les feuilles sont ensuite séchées, puis stockées après avoir subi quelques élaborations complémentaires.

Agencement de l'usine

La figure 1 montre un agencement simple mais rationnel pour une installation de tranchage. Pour que la production soit rationnelle et économique, il est évidemment important de choisir avec soin les machines; cependant, il est tout aussi important de tenir dûment compte des facteurs suivants :

a) Flux rationnel du matériau (des matières brutes au produit fini), qui doit être idéalement représenté par une ligne rectiligne, sans inversions ni étranglements. Ceci peut être obtenu par une étude soigneuse de l'agencement de l'usine et une bonne coordination des différentes phases de travail. C'est relativement facile quand on construit une nouvelle usine. Mais il faut également en tenir compte quand on restructure des installations existantes en y incorporant des machines nouvelles;

b) Manutention rationnelle à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine; il faut choisir avec soin l'emplacement du matériel de levage, dont la capacité et la vitesse de mouvement doivent être adaptées aux besoins;

c) Conception rationnelle des installations et des services, pour assurer la fiabilité opérationnelle des machines;

d) Entretien, normal et préventif, bien conçu et réalisé, pour éliminer les temps morts et prévenir les dommages aux machines, en assurant également la sécurité des opérateurs.

* Par A. Colombo, expert-conseil en fabrication de contre-plaqués et placages. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/12.)

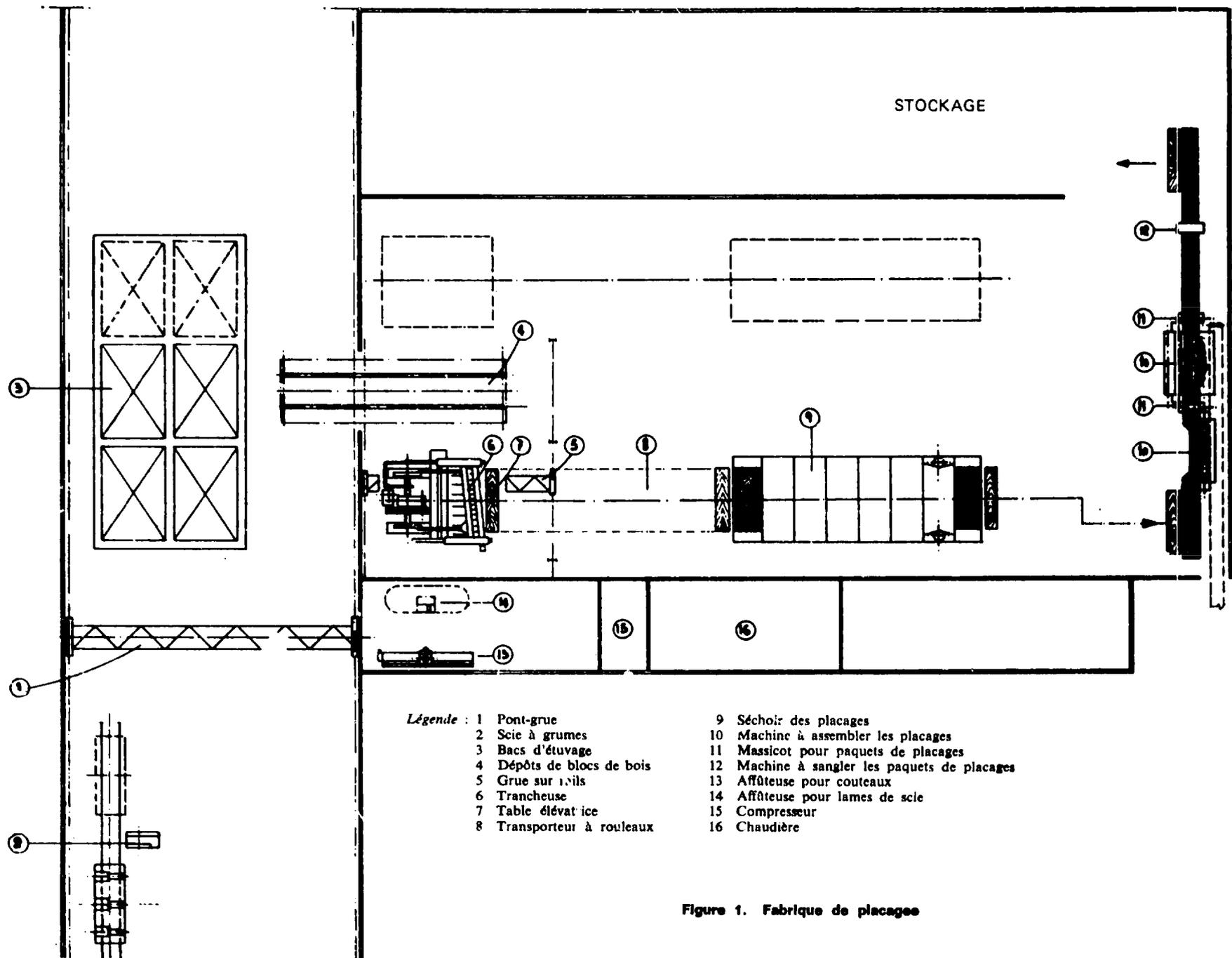


Figure 1. Fabrique de placages

Ces questions peuvent paraître évidentes, mais elles sont malheureusement souvent négligées, parce que leur importance est sous-estimée ou parce qu'on a un sens erroné de l'économie.

Phases de travail

Tronçonnage des grumes

La première opération est le tronçonnage des grumes à la longueur voulue. Etant donné les dimensions variées et souvent considérables des grumes, il ne semble pas avantageux d'avoir une installation fixe (comme dans les usines de contre-plaqués); la meilleure solution est l'emploi de tronçonneuses électriques portatives, montées sur chariot. Cette solution simple est également recommandée du fait de la fréquence relativement faible de cette opération par rapport au reste du cycle de travail (dans les fabriques de contre-plaqués, l'incidence de cette opération est plus grande).

Ecorçage des grumes¹

L'opération suivante est l'écorçage. La méthode classique d'écorçage est le recours à du matériel électrique portatif ou à des installations semi-fixes; mais ce n'est pas rationnel. Il est bien plus avantageux d'utiliser des machines à écorcer équipées de couteaux tournant à grande vitesse. Il existe deux versions de ces écorceuses. La plus courante est celle où la grume repose sur un jeu de disques, montés sur des arbres parallèles, qui la maintiennent en rotation tandis que le couteau, sous l'action d'une poussée pneumatique, suit la surface de la grume et enlève l'écorce (figure 2). Cependant, l'écorceuse qui convient le mieux aux usines de placages, étant donné les conformations souvent irrégulières des grumes qui doivent être tranchées, est l'écorceuse à mandrins: le couteau agit comme dans le cas précédent, mais le système de rotation de la grume est différent: la grume est serrée entre deux mandrins à commande hydraulique, comme dans une machine à dérouler; le blocage de la grume est absolu et les irrégularités de conformation ne posent donc aucun problème pendant l'écorçage (figure 3).

Débitage des grumes

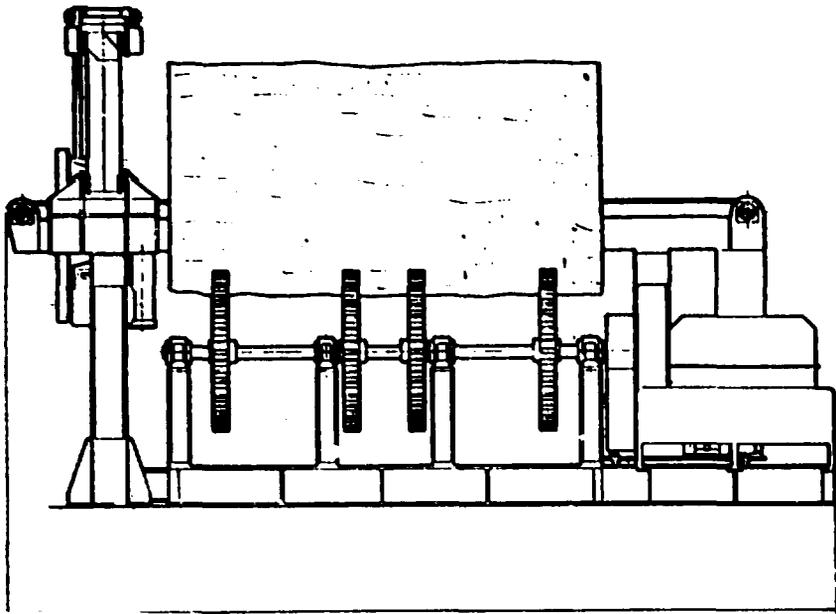
Pour être transformées en blocs à trancher, les grumes doivent être débitées dans le sens longitudinal; on utilise une scie à ruban classique, qui doit être particulièrement robuste étant donné les dimensions et le poids très élevés des grumes. L'automatisation de l'accrochage de la grume sur le chariot est avantageuse pour réduire les temps morts. On a également intérêt à ce que cette machine soit télécommandée et équipée pour pouvoir être utilisée comme scie à refendre; cela permet d'utiliser les temps morts de la machine pour refendre des grumes de qualité inférieure ne convenant pas au tranchage.

Une scie circulaire pour couper les grumes en trois parties complète utilement le secteur de débitage. La grume, placée longitudinalement sur un chariot mobile, peut être sectionnée en trois parties par trois coupes radiales; de la sorte, même à partir de grumes de petites dimensions, on peut obtenir des blocs se prêtant au tranchage.

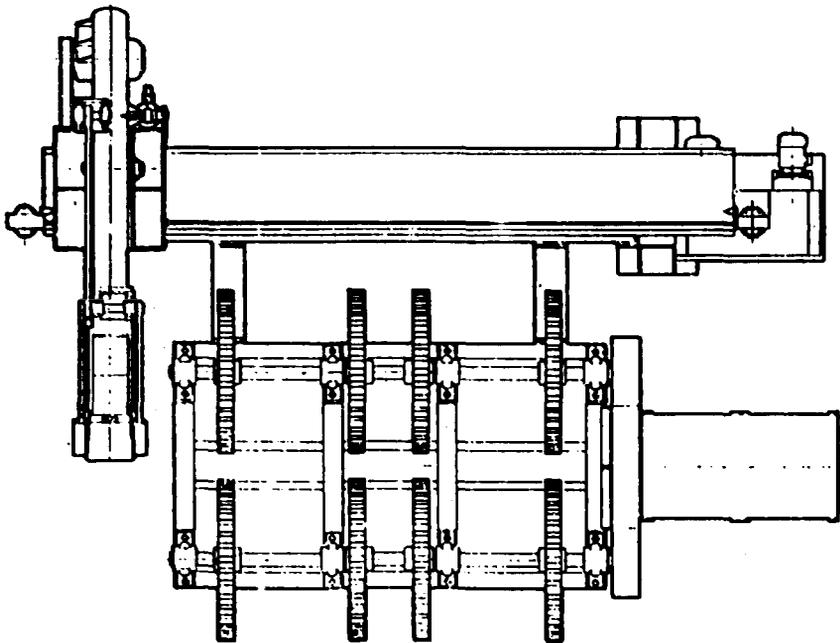
Étuvage

Pour faciliter le tranchage et éviter que les feuilles aient des surfaces rêches, il faut ramollir les blocs. On obtient ce résultat par étuvage dans des cuves appropriées, ou par immersion dans de l'eau bouillante. Les cuves sont en maçonnerie et couvertes pour éviter les pertes de chaleur. L'étuvage peut être direct ou indirect. Dans le premier cas, des tubes apportent directement de la vapeur saturée dans la cuve où sont placés les blocs; dans le deuxième cas, un serpentín placé sur le fond de la cuve est traversé par de la vapeur ou de l'eau surchauffée; il chauffe l'eau de la cuve et produit ainsi la vapeur nécessaire au traitement des blocs.

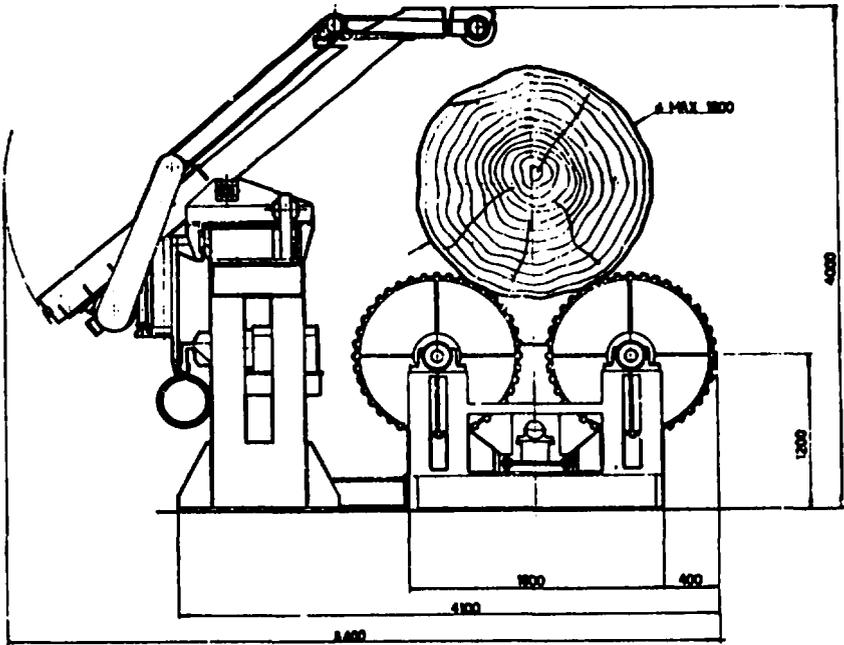
¹ Pour plus de détails sur l'écorçage, voir chapitre VII.



A. Vue de face

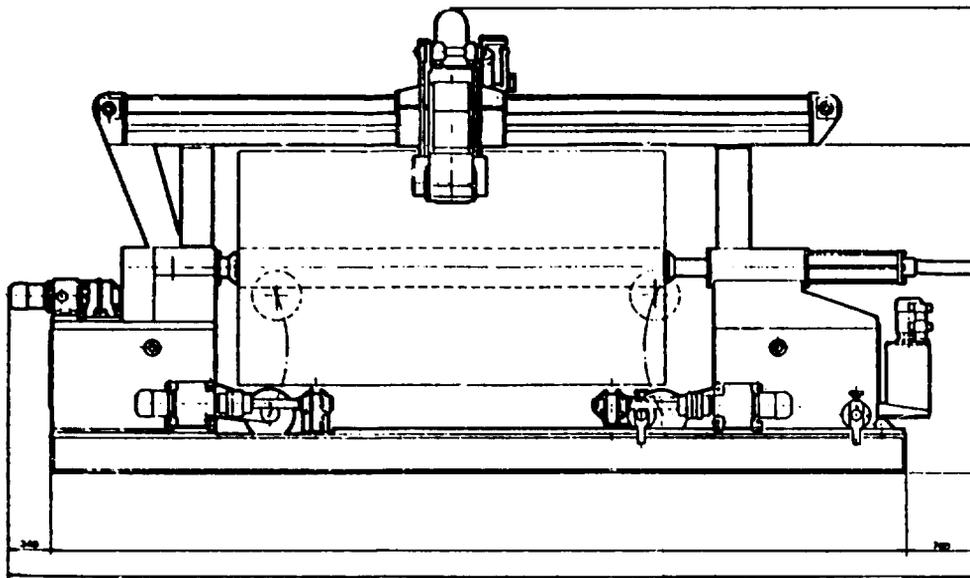


C. Vue d'en haut

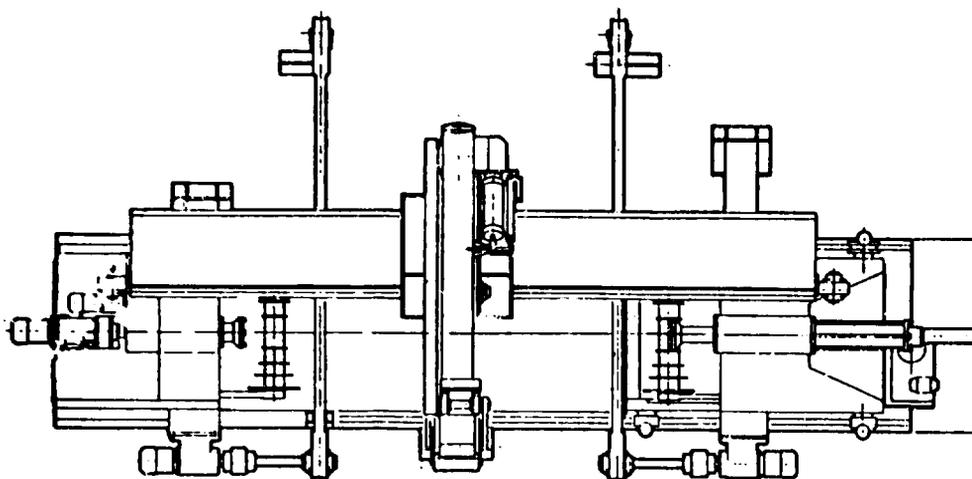


B. Vue de côté

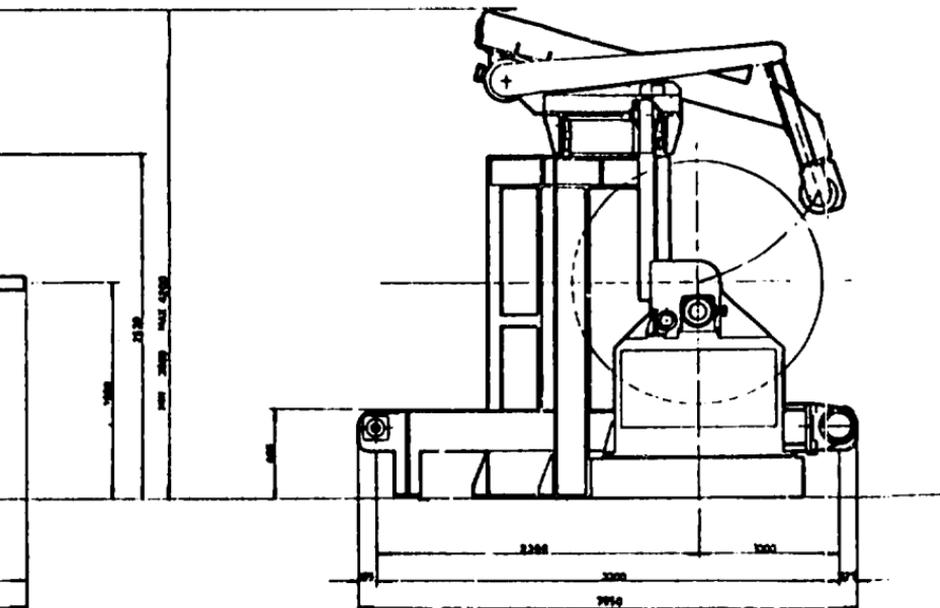
Figure 2. Ecorceuse. La grume tourne sur elle-même sous l'action de craques montés sur des arbres parallèles



A. Vue de face



C. Vue d'en haut



B. Vue de côté

Figure 3. Ecorceuse. La grume est maintenue entre deux mandrins qui la font tourner

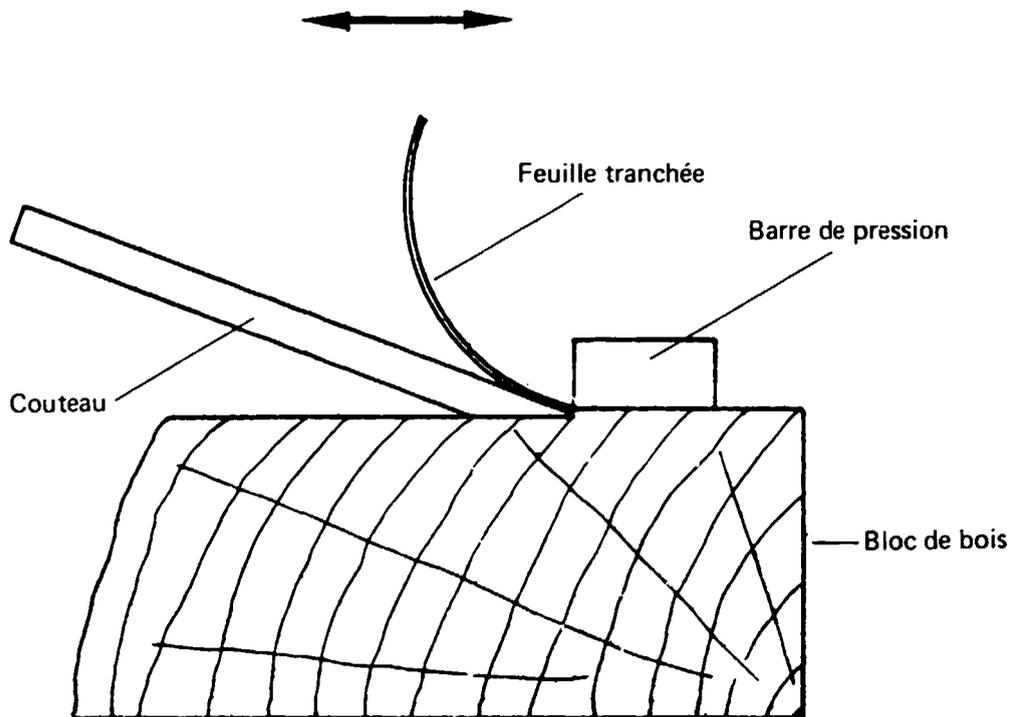
En général, on n'a recours à l'immersion dans de l'eau bouillante que pour des essences qui renferment des résines ou autres substances qui doivent être éliminées.

La température du traitement hydrothermique est généralement comprise entre 80 et 90 °C, afin de ne pas nuire aux propriétés mécaniques du bois. La durée de ce traitement est importante et varie, selon l'essence et le diamètre, entre 10 et 80 heures. On détermine le temps exact de traitement grâce à des données statistiques et à des tableaux appropriés. Un facteur également important est la conception rationnelle du système de chargement et de déchargement des blocs, qui doit comporter une grue sur pont roulant équipée de griffes à grumes.

Tranchage²

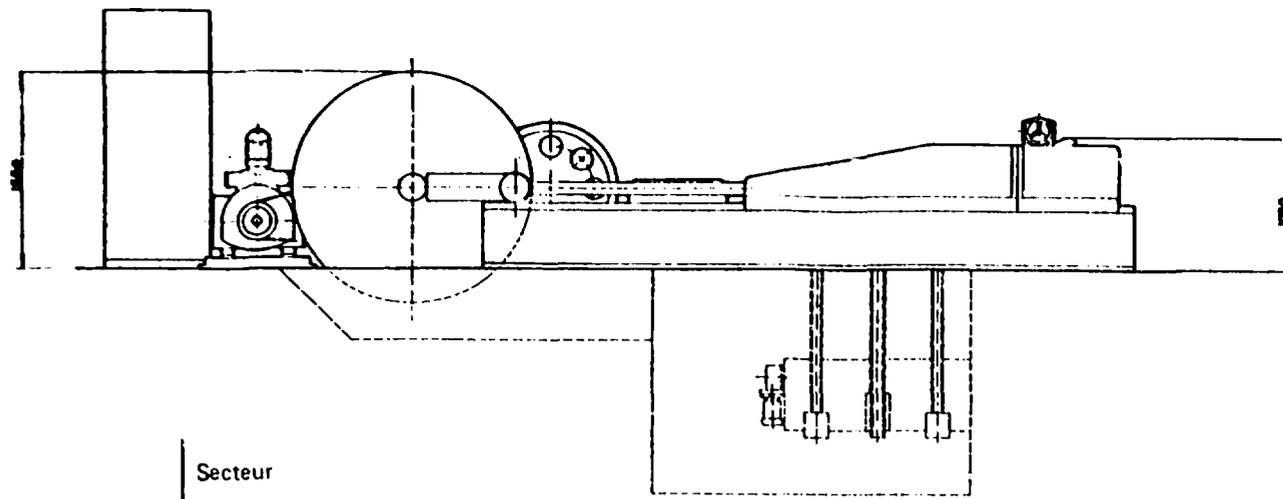
L'opération la plus importante dans la production de placages est évidemment le tranchage. La transformation de blocs en feuilles minces est effectuée comme le montre schématiquement la figure 4. Les caractéristiques d'une trancheuse sont indiquées dans la figure 5. L'outil de tranchage se compose d'un couteau très affûté et d'une barre de pression; le couteau pénètre dans le bois; des feuilles minces sont détachées sous l'effet du mouvement de va-et-vient qui anime l'outil et le bois. Le rôle du couteau est évident; celui de la barre de pression est d'éviter le délitement des feuilles. Il existe de nombreux modèles de trancheuses sur le marché, mais le principe est le même pour toutes : mouvement interdépendant de l'outil de tranchage et du bloc de bois, avec approche égale à l'épaisseur de tranchage à chaque mouvement de va-et-vient.

Figure 4. Trancheuse horizontale



Sur la base de ce principe de tranchage, diverses solutions techniques ont été adoptées : bloc fixe et couteau en mouvement, ou vice versa; mouvement horizontal ou vertical; couteau placé au-dessus ou au-dessous du bloc de bois. Les solutions sont dictées moins par les exigences de tranchage que par le désir de résoudre des problèmes connexes tels que le chargement des blocs et l'évacuation des feuilles. Parmi les solutions essayées, deux se sont pratiquement imposées : le tranchage horizontal et le tranchage vertical.

² Pour plus de détails sur le matériel de tranchage des placages, voir chapitre XIII.



Volume	m ³	50
Poids brut	kg	35 000
Poids net	kg	31 000
Puissance des moteurs auxiliaires	HP	11,5
Puissance du moteur principal	HP	80
Hauteur hors-tout	mm	12,00
Largeur maximale du bloc	mm	800 (1 100)
Longueur maximale du bloc	mm	4 000

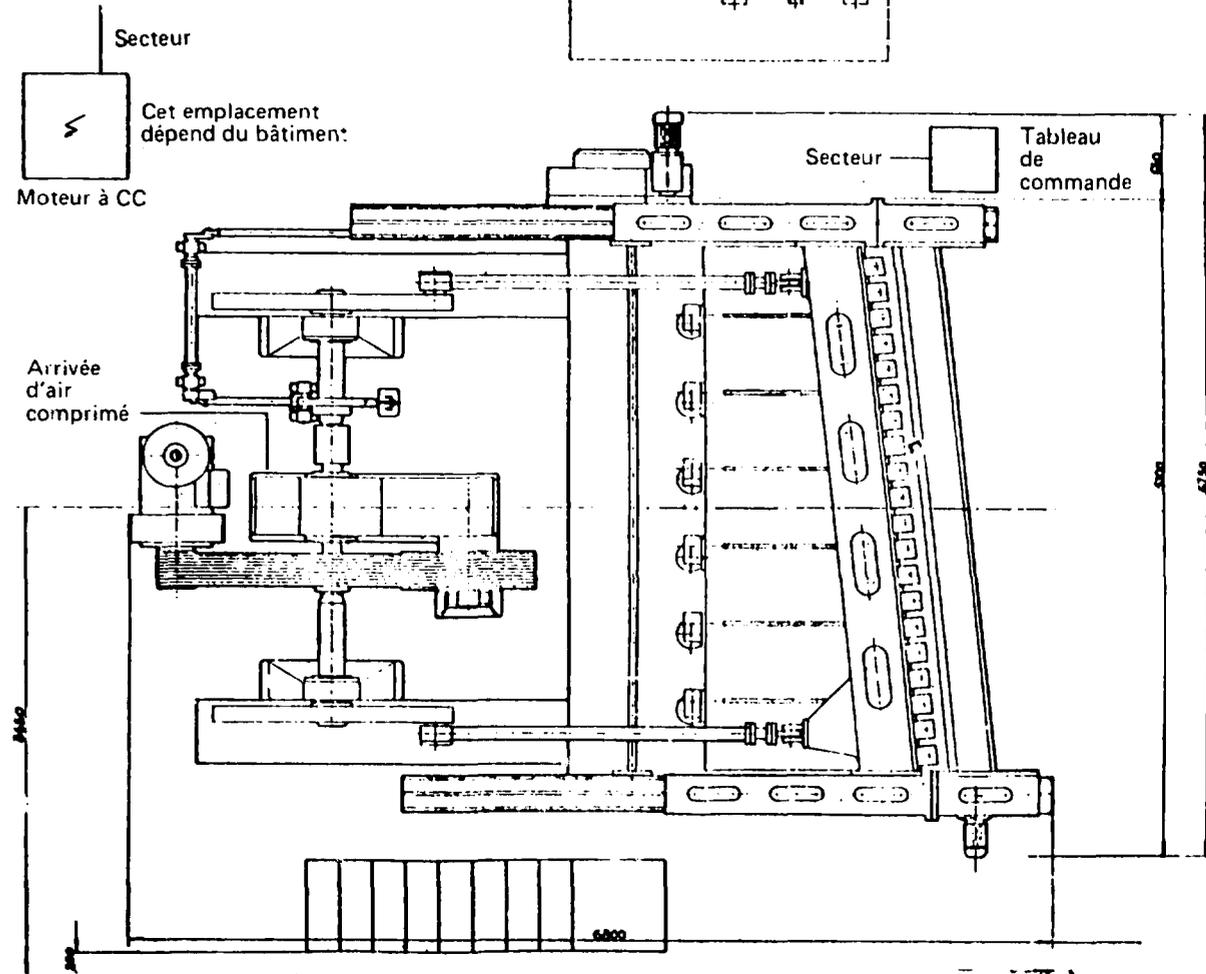


Figure 5. Caractéristiques d'une trancheuse

Trancheuses horizontales

La trancheuse horizontale est la machine classique, la plus répandue et celle dont l'emploi est le plus souple. Le bloc de bois est fermement fixé sur la table et repose contre le tablier de la machine, ce qui garantit sécurité de travail et précision de coupe.

Le chargement des blocs est très facile; les opérations de contrôle et de nettoyage ne posent aucun problème. La table repose sur quatre vérins pour un ajustement rapide de la position. Le mouvement de va-et-vient permet de séparer les feuilles tranchées. Le dispositif de tranchage (figure 6) est animé d'un mouvement alternatif par un système à volant et à bielle; c'est le système le plus utilisé pour les trancheuses horizontales, car il est très simple et permet d'atteindre des vitesses de travail très élevées, impossibles avec d'autres systèmes. L'évacuation des feuilles est assurée par un dispositif dont l'élément principal est un transporteur à bande. Les facteurs importants d'un tranchage soigné et précis sont les suivants :

a) Une inclinaison appropriée du dispositif de tranchage sur l'axe de déplacement du bloc de bois, de façon que la coupe soit graduelle et sans à-coups;

b) La rigidité du dispositif de tranchage, assurée par un dimensionnement approprié de la barre de pression et du chariot porte-outils. Ils doivent être très lourds et le couteau ne doit être soumis à aucune vibration.

La fixation du couteau est très importante, car la robustesse du chariot est sans effet si le couteau lui-même n'est pas monté d'une façon extrêmement rigide. En général, le couteau est attaché à son support par le dessus. La barre d'appui est pourvue de vis de réglage et de brides; le couteau est pratiquement libre entre les deux brides pour permettre les flexions imposées par l'effort de coupe. On peut aussi procéder à la fixation inverse : le plan d'appui du couteau est situé au-dessus, pour constituer un appui continu et très rigide, insensible à l'effet des réactions de coupe. La figure 7 montre la fixation du couteau selon ce système.

Le fonctionnement des trancheuses horizontales a été facilité par des automatismes variés, tels que le blocage et le déblocage automatiques du contre-fer et du couteau pour les opérations de montage et de nettoyage. D'une manière générale, le remplacement de tous les mouvements manuels par des mouvements motorisés ont rendu ces trancheuses hautement productives, tout en conservant leurs caractéristiques de robustesse, de souplesse d'emploi et de précision.

Un perfectionnement récent des trancheuses horizontales est le montage d'un deuxième ensemble de griffes (frontal et postérieur), en addition des griffes normales devant le tablier de la machine. Ceci permet de donner l'inclinaison voulue à l'axe du bloc de bois, ce qui est souvent nécessaire pour obtenir l'angle d'incidence le plus favorable. En outre, l'absence de frottement entre le bloc et le tablier de la trancheuse permet une meilleure précision de l'épaisseur de tranchage.

Les dispositifs de sécurité mécaniques et photoélectriques dont sont dotées les trancheuses horizontales permettent aux opérateurs de travailler en toute sécurité.

Trancheuses verticales

Dans ces machines, le porte-outil est stationnaire, tandis que le bloc de bois est animé d'un mouvement alternatif vertical; un mouvement intermittent permet la séparation de la feuille tranchée. La figure 8 montre une trancheuse verticale. Par rapport à la trancheuse horizontale, la trancheuse verticale présente quelques avantages, mais aussi plusieurs inconvénients.

Le principal avantage est la plus grande vitesse de travail; cependant, ceci n'est possible qu'avec des essences « faciles » à travailler, c'est-à-dire de bonne qualité et de densité relativement faible.

Les inconvénients sont les suivants :

a) La machine est moins souple, en ce sens qu'elle ne peut travailler que des blocs plus petits que ceux que peut recevoir une trancheuse horizontale;

b) Le système de fixation du bloc est moins rigide et moins sûr;

c) Le système de chargement des blocs et d'évacuation des feuilles tranchées est plus délicat et plus dangereux pour l'opérateur;

Figure 6. Trancheuse horizontale

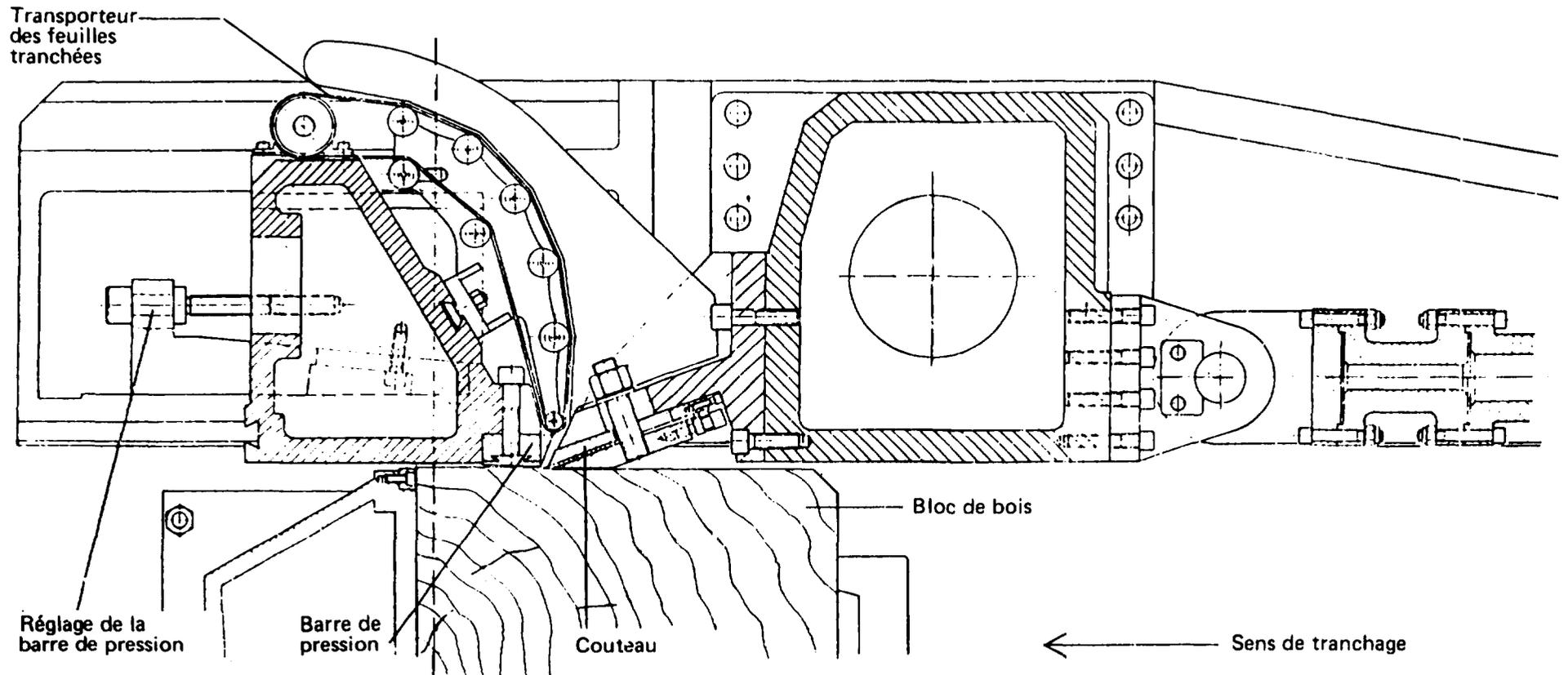


Figure 7. Fixation du couteau d'une trancheuse horizontale

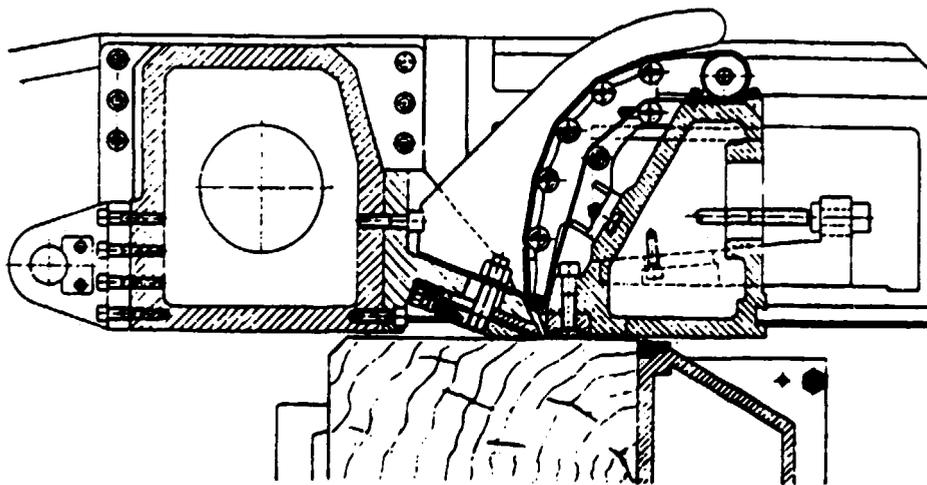
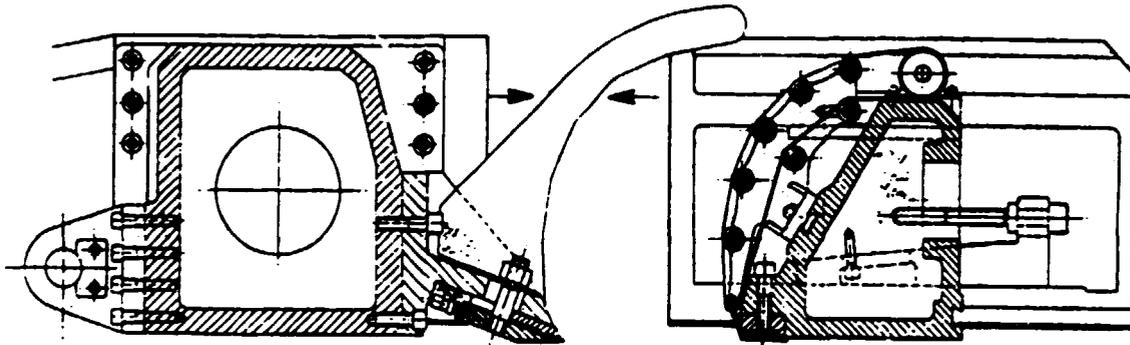
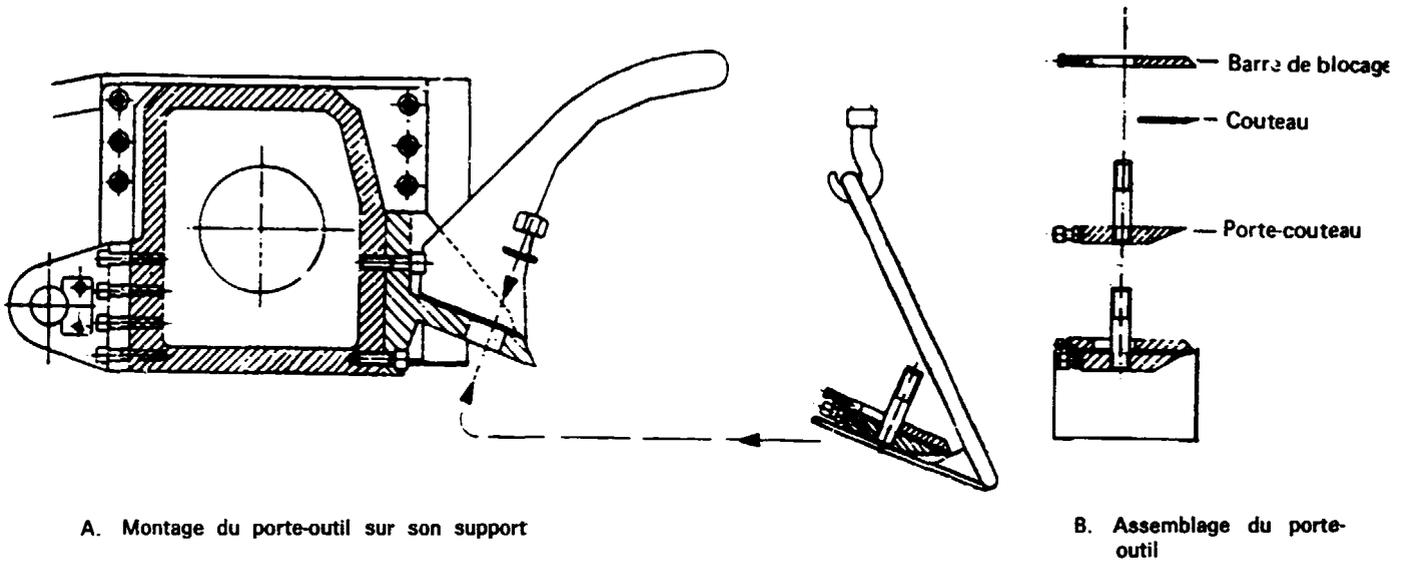
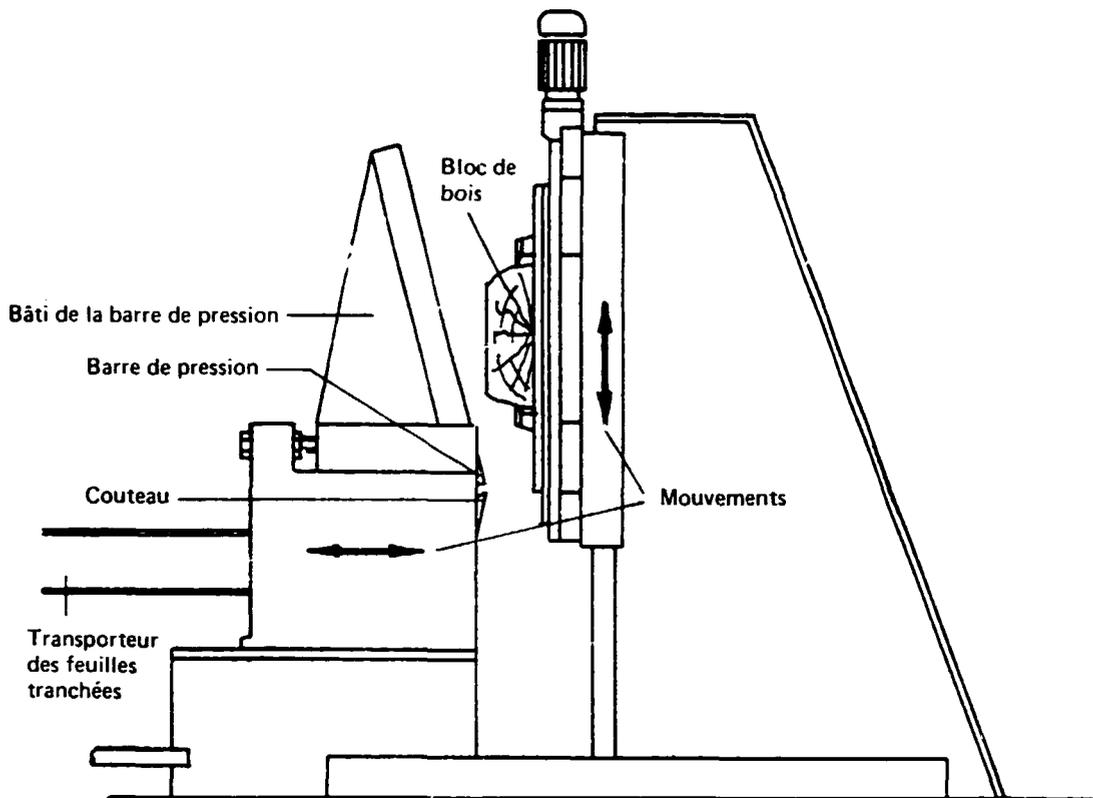


Figure 8. Trancheuse verticale



- d) Les opérations de contrôle et de nettoyage du bloc sont plus lentes, car il faut éloigner le porte-outil;
- e) Il faut trois opérateurs, au lieu de deux (un à la machine et deux pour la manipulation des feuilles tranchées).

Manutention automatique des feuilles tranchées

Il existe divers systèmes de manutention automatique des feuilles entre la trancheuse et le séchoir, afin de réduire la main-d'œuvre nécessaire.

Les opérations considérées constituent des maillons intéressants de la chaîne de production, mais il y a diverses limitations et l'ensemble du problème doit être étudié avec soin. En fait, on ne peut obtenir de résultats satisfaisants qu'avec quelques essences d'excellente qualité, exemptes de fentes et n'ayant qu'une faible tendance à froncer. Malheureusement, c'est rarement le cas avec les placages car la même machine doit souvent trancher des essences très diverses. En outre, la trancheuse et le séchoir sont interdépendants : la production de la trancheuse peut être limitée par la capacité du séchoir, et vice versa; le séchoir peut fonctionner à vide pendant le chargement et le déchargement de la trancheuse, pendant le nettoyage ou le retournement du bloc de bois, ou pendant les temps morts.

Enfin, il ne faut pas oublier que quelques essences exigent un certain temps d'attente entre le tranchage et le séchage, pour permettre à la coloration de prendre son aspect définitif. En résumé, l'automatisation ne peut pas être recommandée lorsqu'on doit trancher de nombreuses essences différentes, aux qualités très variables, ni quand le problème de la réduction de la main-d'œuvre n'a pas une importance primordiale. Autrement dit, l'automatisation n'est à conseiller que comme ligne auxiliaire dans une usine où plusieurs trancheuses normales assurent la production de base, quelles que soient les essences présentes; la ligne automatisée peut alors être réservée aux blocs de bois préalablement sélectionnés et préparés.

Séchoirs

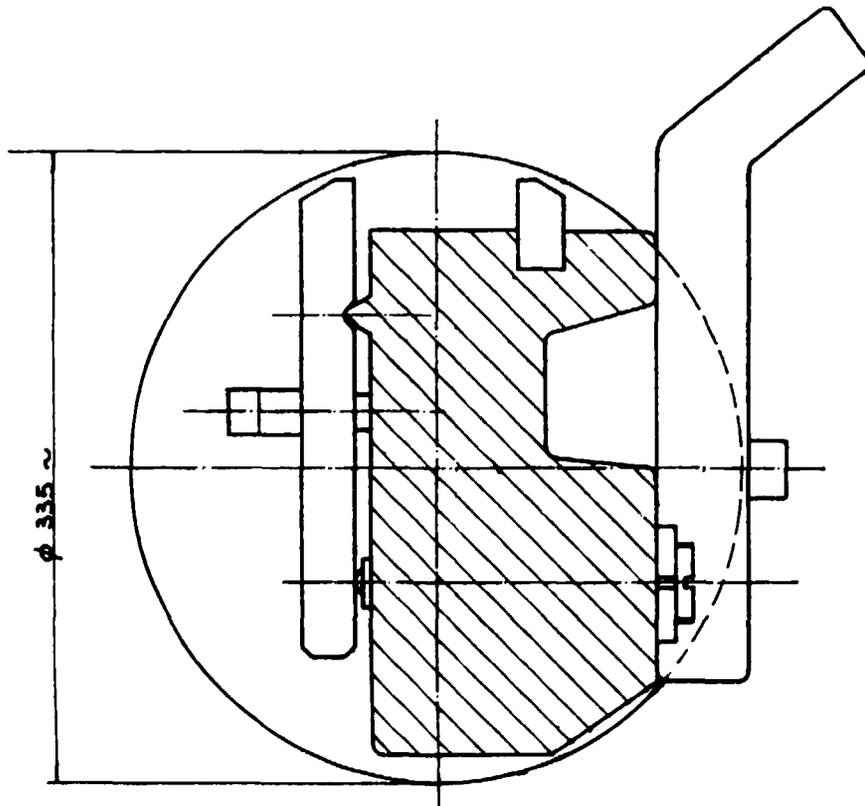
Les feuilles tranchées contiennent un fort pourcentage d'humidité, qu'il faut abaisser par le processus de séchage. Le procédé le plus courant consiste à utiliser des séchoirs équipés de transporteurs à filet métallique, qui sont sûrs, efficaces et permettent une bonne distension des placages, c'est-à-dire la prévention de fronces. Pour ce qui est de la circulation d'air chaud, le meilleur système est celui à tuyères, car c'est le plus efficace et celui qui assure la meilleure ventilation. Les moyens habituels de chauffage de l'air sont la vapeur ou l'eau surchauffée; selon une technique plus moderne, le fluide de chauffage est une huile diathermique : il est possible d'atteindre des températures beaucoup plus élevées, ce qui permet de réduire les dimensions des séchoirs, d'où une économie d'énergie et d'espace. En outre, n'étant pas sous pression, le circuit est moins dangereux et n'exige pas du personnel hautement qualifié. Normalement, les séchoirs sont à deux niveaux, mais il existe des séchoirs à trois niveaux, en forme de « S » très aplati, ce qui permet de réduire l'espace nécessaire.

Dans le choix d'un séchoir, il faut tenir compte, non seulement de ses propres dimensions, mais aussi de l'espace nécessaire pour les opérations de chargement et de déchargement. Il existe maintenant des systèmes automatiques de déchargement, qui sont vivement recommandés, car ils permettent l'empilement automatique d'un nombre préétabli de feuilles. Il s'agit généralement de dispositifs où des ventouses soulèvent les feuilles, qui sont ensuite séparées et empilées par des systèmes mécaniques.

Mise en paquets et massicotage des placages

Après séchage, les placages sont mis en paquets et massicotés. La disposition idéale consiste à accoupler en série deux machines de mise en paquets et deux massicotés. Si la production est peu élevée, il suffit d'associer un massicot à deux machines de mise en paquets. On peut compléter cette chaîne avec une machine lieuse qui sangle automatiquement les paquets. Depuis quelque temps, on installe ensuite une machine pour mesurer automatiquement et en continu la surface des placages, les étiqueter et fournir les indications nécessaires pour leur stockage. On peut ainsi assurer une gestion automatique et programmée des magasins.

Figure 9. Dérouleuse : schéma d'un système d'ancrage



Déroulage excentrique

Le déroulage excentrique est analogue au tranchage: il est effectué en déroulant des billons serrés excentriquement entre les mandrins de la machine. Le système d'ancrage illustré par la figure 9 prend une importance croissante; il s'agit essentiellement d'un barreau tournant entre les mandrins de la machine, sur lequel le billon est fixé; une douille de serrage pneumatique ou, mieux, hydraulique (pour une plus grande force de serrage) maintient le billon qui a été fraisé de manière appropriée aux deux extrémités. Le résultat de ce déroulage est analogue à celui du tranchage, mais on obtient avec la même grume des placages de dimensions supérieures. Le déroulage excentrique a plusieurs avantages: productivité très élevée, du fait de la facilité et de la rapidité du chargement, grande vitesse de travail et réduction de la main-d'œuvre. En revanche, étant donné les très fortes contraintes dues au déroulage excentrique, la machine doit être extrêmement rigide et pourvue de dispositifs pour tenir compte des déséquilibres.

XIII. Chaînes de fabrication de contre-plaqués et de placages*

Il y a bientôt cent ans que commençait, en 1884, la fabrication des premiers panneaux de contre-plaqués. La production industrielle des contre-plaqués a débuté vers 1910 et elle n'a pas cessé de prendre de l'importance au cours des décennies qui ont suivi. Dans les vingt dernières années, la production mondiale de contre-plaqués a presque triplé et celle du Japon a augmenté de 800 %.

La prévision de l'évolution future présente le plus grand intérêt pour les entrepreneurs et les hommes d'affaires. Selon les experts de la FAO, la demande mondiale de contre-plaqués aura pratiquement doublé en l'an 2000. L'augmentation de la demande stimulera le progrès de la technologie du travail du bois. C'est là un processus constant, qui s'est sensiblement accéléré au cours des dix dernières années. Depuis des années, des laboratoires scientifiques, des centres de recherche, des établissements industriels, des ingénieurs du bois, etc., font des recherches et des expériences sur l'exploitation des ressources forestières. L'industrie du bâtiment utilise de plus en plus de contre-plaqués depuis quelque temps, bien que la construction traditionnelle connaisse une période de stagnation. Ceci est vrai aussi bien en Europe qu'aux Etats-Unis d'Amérique, et chacun sait pourquoi : les coûts de construction sont devenus « impossibles ».

C'est pour cela que les bâtiments préfabriqués, utilisant une grande quantité de contre-plaqués, deviennent chose courante dans la périphérie des grandes villes des Etats-Unis. Dans l'Union des Républiques socialistes soviétiques, des dizaines de petites villes construites avec des bois ignifugés sont en train de naître le long de la seconde ligne du Transsibérien.

En Europe centrale, le bois commence à prendre une importance considérable dans la construction d'immeubles modernes. Aujourd'hui, de nombreuses maisons préfabriquées sont à base de contre-plaqués. Elles sont très élégantes, bien conçues, confortables et satisfaisantes du point de vue écologique. Ceci est dû au fait que la technologie est désormais en mesure de résoudre tous les problèmes que pose l'utilisation du bois et de matériaux complémentaires dans l'industrie du bâtiment.

Dans la construction traditionnelle, le bois est utilisé principalement pour faire des coffrages à béton et à béton armé; les planches sciées ne peuvent être utilisées que trois ou quatre fois, alors que certains panneaux de contre-plaqués peuvent être utilisés jusqu'à 10 ou 15 fois. Ces panneaux sont de dimensions normalisées ou modulaires et permettent donc d'économiser beaucoup de temps, de matériel et de main-d'œuvre qualifiée. Entre autres avantages, le contre-plaqué s'adapte facilement à tous les types de construction, constitue des coffrages très solides et peut être facilement transporté et assemblé; en outre, les coffrages en contre-plaqué donnent une apparence agréable et régulière aux surfaces en béton.

Le secteur des emballages en contre-plaqué est également en pleine expansion. La résistance mécanique des panneaux de contre-plaqués n'est pas la seule raison; leur grande surface continue supprime les fentes, ils sont légers et leur assemblage demande moins de travail que la méthode traditionnelle d'assemblage de planches et de traverses clouées. Ces dernières années, l'emballage en contre-plaqué a aussi été exploité comme moyen publicitaire; on peut réaliser des lettres et des dessins dont les couleurs attirent le regard. Dans l'industrie du meuble et de la décoration intérieure, les expositions internationales tenues récemment montrent que les panneaux de contre-plaqué remplacent de plus en plus les matières plastiques et les articles métalliques. Le contre-plaqué est devenu plus important dans l'industrie du bâtiment pour les usages intérieurs (portes, fenêtres, revêtements muraux), dans la fabrication d'articles techniques et d'articles de sports, dans la construction navale, etc.

* Par E. Mabini, expert en production de contre-plaqués et de placages. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/14.)

Dans l'avenir, des produits traditionnels seront remplacés par des produits nouveaux, et le secteur du contre-plaqué subira donc l'influence des méthodes de fabrication qui évoluent constamment

Classification des panneaux

Les contre-plaqués peuvent être classés de la façon suivante :

Classification par composition :

Contre-plaqués à trois plis, de 3 à 8 mm d'épaisseur

Contre-plaqués à plus de trois plis, de 8 à 40 mm d'épaisseur

Classification par domaine d'application :

Contre-plaqué normal, pour « intérieur », utilisé quand la résistance à l'humidité n'est pas nécessaire

Contre-plaqué pour « extérieur », ayant une bonne résistance à l'humidité

Contre-plaqué « marin », résistant à tous les agents atmosphériques, à l'immersion en eau froide (eau douce et eau de mer), à la moisissure et aux insectes

Classification par forme :

Panneaux plats

Panneaux cintrés, convexes, ondulés ou galbés

Dans cette étude des critères pour le choix des machines à faire le contre-plaqué, on se bornera à étudier le secteur le plus important : les panneaux plats à trois plis ou plus. Pour obtenir le type de contre-plaqué voulu (intérieur, extérieur ou marin), il faut utiliser les espèces de bois et les colles appropriées. Certains panneaux de contre-plaqué sont revêtus d'un placage de qualité (d'environ 0,5 mm d'épaisseur) sur une face ou sur les deux; ces placages sont faits à l'aide d'une trancheuse.

Agencement des installations

Le choix des machines pour les divers secteurs d'une usine de fabrication de panneaux de contre-plaqué est déterminé dans une large mesure par les facteurs suivants :

Dimensions maximales et moyennes des espèces de bois traitées

Dimensions, caractéristiques physiques et qualité des panneaux à produire

Production envisagée

Degré d'automatisation, qui dépend de la production et de l'environnement

En général, une usine peut être divisée en secteurs, selon les opérations successives de transformation de la matière première. On supposera que la matière première a déjà été vérifiée et que les grumes de mauvaise qualité ont été éliminées. Le cycle de fabrication comprend les opérations suivantes :

Sélection et préparation des grumes

Déroutage et massicotage en formats standards et petits formats

Séchage

Jointage des petites pièces

Préparation de la colle

Formation des panneaux

Pressage

Déclignage et ponçage

Sélection et préparation des grumes

Le problème du stockage et de la sélection des grumes sera traité très brièvement, étant donné que chaque usine a ses problèmes particuliers, auxquels il est impossible de donner une solution générale. Les grumes utilisées dans la fabrication du contre-plaqué doivent avoir des caractéristiques physiques et géométriques les rendant propres au déroulage. Les grumes en mauvais état ou présentant des défauts

physiques évidents (fentes, crevasses, etc.) ne peuvent pas être utilisées, étant donné la perte de temps et de matériel qui serait subie pendant le déroulage. Il en est de même des grumes de formes irrégulières (non cylindriques). Les grumes sélectionnées sont empilées dans le chantier à bois. Elles doivent être conservées en bon état et protégées contre tout risque de fendillement. La superficie du chantier à bois, ou aire de stockage, dépend de la taille de l'usine et de la fréquence des livraisons. Si l'on dispose de suffisamment d'eau et d'espace, les grumes peuvent être conservées dans des bassins ou des cuves.

Il est parfois impossible que les grumes gardent le taux d'humidité approprié pour le déroulage. Quand les livraisons de grumes sont peu fréquentes, à quelques mois d'intervalle, certaines grumes peuvent devenir trop sèches pour le déroulage. En pareil cas, les grumes doivent être étuvées ou immergées dans de l'eau bouillante. Ceci est absolument nécessaire pour certaines essences dures, afin de ramollir les matières fibreuses pour faciliter le déroulage. Les étuves sont en ciment et de grandes dimensions : 12 m de long, 6 m de large et plus de 4 m de profondeur. Un serpentín relié à une chaudière est posé sur le fond de la cuve et recouvert d'eau. Les grumes sont placées dans ces cuves, qui sont ensuite fermées par des couvercles spéciaux, de sorte que les grumes soient entourées de vapeur d'eau.

Pour la manutention des grumes, on utilise de plus en plus des grues automotrices, car elles offrent plus de souplesse d'emploi que les ponts grues et les grues à flèche. Les grumes ont généralement des longueurs, des diamètres et des formes différents, de sorte qu'elles doivent subir un traitement préliminaire avant de pouvoir être envoyées au déroulage. La première opération est le tronçonnage à la longueur voulue; celle-ci dépend du cycle de production. Les portions inutilisables sont mises au rebut. Les tronçonneuses utilisées sont généralement des scies à chaîne montées sur un chariot à deux roues. Il est évident que la dimension des scies, notamment celles du guide-chaîne, dépend du diamètre maximal des grumes à tronçonner. Si la production est élevée, il est bon d'installer un poste fixe de tronçonnage entre deux transporteurs de grumes : deux dispositifs de levage indépendants permettent de positionner l'axe de la grume selon l'horizontale et de maintenir la grume pendant que la tronçonneuse la coupe verticalement. Si l'axe de la tronçonneuse est bien perpendiculaire à l'axe de la grume, la perte de matières premières est minimale. Après tronçonnage de la grume, les billons obtenus doivent être écorcés. La figure 1 montre un poste de tronçonnage et d'écorçage. Il existe plusieurs manières d'écorçage, selon le diamètre des billons et l'espèce de bois.

Pour les billons de moins de 70 cm de diamètre, verts ou étuvés, ayant une écorce assez épaisse, il vaut mieux utiliser l'écorceuse à rotor. C'est une machine automatique, essentiellement constituée d'un bâti solide qui supporte deux transporteurs à chaînes (un de chaque côté); chaque transporteur est équipé de rouleaux ou disques qui permettent de faire avancer le billon et de le centrer par rapport au rotor. Le rotor a la forme d'un anneau tournant autour de son axe; les couteaux courbés montés sur le rotor sont munis d'un ressort qui pousse l'extrémité du couteau vers le centre du rotor; quand le billon passe à travers le rotor, il pousse les couteaux vers l'extérieur, tandis que les ressorts les pressent sur la surface du billon. Quand le rotor tourne, les couteaux soumettent l'écorce à une pression et à une friction qui provoquent l'écorçage. Des inciseurs réduisent l'épaisseur de l'écorce avant l'intervention des couteaux, ce qui facilite l'écorçage. Pour les billons de 70 cm à 2 m de diamètre, il faut procéder à un examen approfondi de l'espèce de bois et de sa forme, pour déceler tous les défauts. Malheureusement, cette opération n'est pas toujours faite avec le soin voulu, bien qu'elle ait une influence sensible sur le coût total de la production. Dans l'écorceuse de la figure 1, le billon tourne très lentement et un couteau oscillant avance le long du billon (à chaque tour du billon correspond une avance légèrement inférieure à la largeur du couteau); la pression de l'outil sur l'écorce est commandée hydrauliquement; le couteau enlève l'écorce et un peu de bois, en laissant une trace hélicoïdale à la surface du billon.

Les écorceuses les plus utilisées aujourd'hui ont deux bras oscillants, qui tournent à grande vitesse et sont munis d'outils qui enlèvent l'écorce par une action combinée de martèlement et de coupe. Deux disques dentés, montés sur deux arbres parallèles tournant dans le même sens, font tourner le billon qui est placé entre eux; les arbres sont entraînés par un moteur à variation continue de vitesse. Les bras oscillants sont appuyés contre la surface du billon par un système hydraulique et ils se déplacent longitudinalement; le long du billon en rotation.

Il existe une autre version de cette écorceuse : les bras oscillants sont immobiles, le billon tourne sur un chariot qui se déplace longitudinalement. Cette machine est moins rigide, mais plus pratique que le type normal, étant donné que le billon arrive d'un côté et sort de l'autre. On peut prévoir plusieurs points de déchargement, correspondant aux divers secteurs d'utilisation; avec des transporteurs à chaîne longitudinaux et transversaux, on peut travailler en continu. Malheureusement, si les billons ont une forme irrégulière ou présentent des cavités, cette machine ne peut pas les écorcer entièrement et le travail doit être terminé à la main.

Figure 1. installation de tronçonnage et d'écorçage

- Légende :*
- 1 Transporteurs
 - 2 Transporteurs
 - 3 Tronçonneuse
 - 4 Table élévatrice
 - 5 Ecorceuse

Les écorceuses à couteau peuvent aussi être employées pour des billons de petit et moyen diamètre ayant une écorce fine, comme le hêtre commun. Quel que soit leur type, les écorceuses ont une grande capacité de production, si bien qu'une seule machine peut desservir plusieurs chaînes de travail, surtout si l'usine a un bon système de transporteurs pour les billons et pour l'évacuation des écorces.

Section de déroulage

L'application de la technologie moderne à la fabrication des contre-plaquéés implique l'automatisation d'un cycle de travail en continu. La figure 2 représente un tel cycle : conversion de grumes en feuilles de placage humides. Il s'agit en l'occurrence du déroulage de billons de taille moyenne, c'est-à-dire ayant entre 0,45 et 1,2 m de diamètre. Pour des diamètres inférieurs ou supérieurs, l'équipement nécessaire est quelque peu différent.

Centrage des billons

Les billons sont amenés à la section de déroulage au moyen de transporteurs longitudinaux et transversaux. Une réserve d'une dizaine de billons assure une alimentation constante. Avant le déroulage, il faut procéder au centrage des billons, afin de limiter au minimum les déchets de matières premières. Le centrage est donc très important du point de vue économique. Un bon centrage doit tenir compte de la forme extérieure du billon et de son aspect aux extrémités. Quand le cœur du billon est décentré, quand il y a des fentes extérieures ou intérieures ou d'autres défauts de croissance, l'axe de rotation du billon doit être différent de son axe géométrique.

Le centrage géométrique est fait automatiquement par contrôle optique de quatre points disposés à angle droit. On mesure deux sections du tronc au tiers de sa longueur; le billon étant centré selon sa forme, des cercles concentriques sont projetés sur les deux extrémités afin de permettre à l'opérateur de la dérouleuse de contrôler le résultat. L'opérateur, qui peut voir dans deux miroirs les extrémités du billon, peut raffiner la position de l'axe de rotation au moyen de deux boutons poussoirs.

Les griffes d'un pont-grue saisissent le billon et le transportent vers la dérouleuse. Les mandrins de la dérouleuse bloquent le billon sur l'axe de rotation sélectionné. Les griffes de la grue sont dégagées automatiquement et le pont-grue retourne à sa position initiale, où s'effectue le centrage du billon suivant. Le temps total nécessaire au centrage et au transport du billon à la dérouleuse est d'environ 45 secondes. Ceci signifie que la dérouleuse peut recevoir environ 80 billons à l'heure; à l'heure actuelle, aucune dérouleuse ne peut atteindre ce rythme de travail.

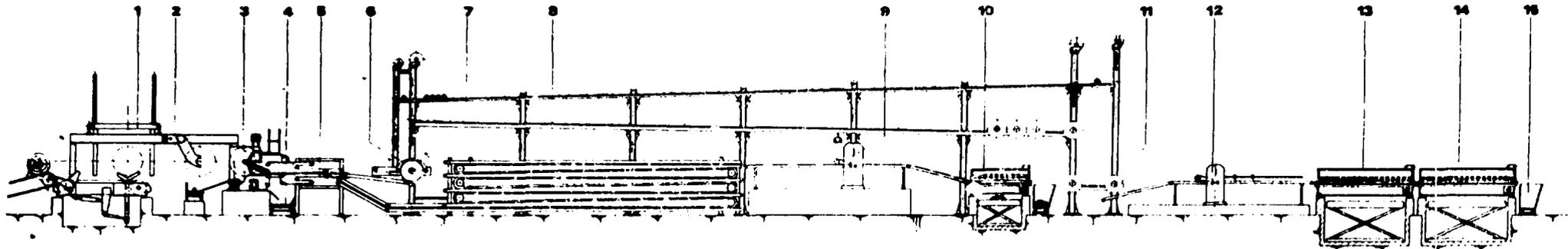
Déroulage

Dans les installations modernes, le pupitre de commande est installé sur l'un des montants de la dérouleuse (figure 2, 3), de sorte que l'opérateur peut voir et contrôler toute l'opération de déroulage. Cette opération peut être divisée de la façon suivante : transport du billon vers la machine à centrer; centrage du billon et transport à la dérouleuse; déroulage; triage des déchets et des feuilles utilisables; transport de la feuille déroulée vers la station d'enroulement (figure 2, 6); transport de la bobine enroulée vers le magasin et mise en place d'une bobine vide (figure 2, 7) sur la machine; déchargement du rondin résiduel (figure 2, 2). Dans les installations traditionnelles, même récentes, ces travaux exigent au moins quatre personnes, dont la productivité est relativement faible. On peut donc se demander comment une seule personne peut exécuter tous ces travaux.

Essentiellement, les avantages de l'automatisation -- donc d'un seul opérateur -- sont les suivants :

- a) Un haut degré d'automatisation assure le déroulement continu de tous les travaux, dont la séquence est programmée, de sorte que l'opérateur ne doit intervenir qu'occasionnellement quand la nature du billon l'exige;
- b) Toutes les commandes sont groupées sur un même pupitre et disposées selon un schéma synoptique reproduisant les séquences de travail;
- c) L'opérateur contrôle les opérations avant et après le déroulage et intervient dès qu'un défaut semble survenir; il lui suffit alors de presser un ou deux boutons pour rétablir les conditions de travail optimales.

Figure 2. Agencement pour la transformation des grumes en feuilles humides



- | | |
|---|---|
| <p><i>Légende :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Centrage et chargement automatiques 2 Transporteur des rondins résiduels 3 Dérouleuse à mandrins télescopiques; tableau de commande 4 Transporteur des feuillets inutilisables 5 Transporteur des feuilles et des feuillets utilisables 6 Enrouleur automatique des feuilles 7 Stock de bobines | <ul style="list-style-type: none"> 8 Transporteurs superposés 9 Massicot automatique 10 Empileur des feuillets sous-dimensionnés 11 Dérouleur automatique des feuilles 12 Massicot automatique 13 Empileur des feuillets normaux 14 Empileur des feuillets sous-dimensionnés 15 Collecteur de déchets |
|---|---|

On a constaté dans la pratique qu'un opérateur expérimenté et disposant de machines bien équipées peut intervenir avant même que les défauts du billon puissent nuire au déroulement continu des opérations. C'est pourquoi une dérouleuse moderne doit être équipée de la façon suivante :

a) *Deux mandrins télescopiques* : Au début du déroulage, le billon est maintenu par des griffes de grande dimension; elles sont dégagées automatiquement lorsque le diamètre du billon a été réduit à une valeur donnée, légèrement supérieure à la dimension des griffes; ainsi, le déroulage peut continuer, sans la moindre interruption, jusqu'à ce que le diamètre du billon atteigne une valeur minimale, qui est normalement égale à la dimension des mandrins intérieurs (si les caractéristiques du billon le permettent).

b) *Un moteur de commande électrique, à courant continu et variation continue de vitesse*. La puissance nécessaire est importante, étant donné que la vitesse de déroulage peut atteindre 300 m/mn. Il faut donc installer des moteurs pouvant délivrer plus de 100 kW à un tiers de la vitesse de rotation maximale.

La vitesse doit varier automatiquement afin d'obtenir une vitesse de déroulage périphérique constante, et doit pouvoir être modifiée par l'opérateur si les conditions de travail l'exigent. Un détecteur avec circuit d'intégration mesure constamment la vitesse périphérique du billon et la convertit en signaux électriques qui sont transmis aux transporteurs et au dispositif d'enroulage, pour permettre la synchronisation des diverses opérations. Pour bien comprendre le concept d'enroulage automatique, il suffit d'imaginer que l'on déroule une bobine de papier (qui représente le billon), qu'on transporte le papier déroulé et qu'on l'enroule sur une bobine en rotation, située à 6 m environ; pendant qu'une bobine se déroule, l'autre s'enroule automatiquement à une vitesse synchronisée avec la première, sans que le papier subisse la moindre tension.

c) *Contrôle de l'épaisseur*. L'épaisseur de la feuille varie pendant le déroulage : elle est plus grande tant que le billon n'est pas parfaitement cylindrique. On doit pouvoir effectuer le déroulage d'un billon, avec des épaisseurs différentes, sans devoir arrêter l'opération. Chaque changement d'épaisseur implique la variation automatique de la distance entre l'outil de coupe et la barre de pression.

d) *Dispositif pour l'écartement rapide de la barre de pression et son retour en position*. Ce dispositif entre en jeu quand des fragments de bois ou d'écorce se sont encastrés entre l'outil de coupe et la barre de pression. Cette opération doit être très rapide pour ne pas risquer de rompre la feuille déroulée.

e) *Dispositif antifiilage*. Des rouleaux pressent le billon en rotation pour s'opposer aux réactions de coupe et éviter les flexions du billon quand son diamètre devient très petit. Les dérouleuses de billons de petit ou moyen diamètre doivent être équipées d'une barre qui puisse presser sur toute la longueur du billon; pour les grandes dérouleuses, il suffit que la barre presse sur la partie centrale du billon. Ces dispositifs sont à commande hydraulique et la pression exercée est réglable selon les conditions de travail.

f) *Rattrapage du jeu sur les vis d'entraînement du porte-outil*. Pendant le déroulage, le mouvement latéral du porte-outil doit être continu et uniforme, afin de pouvoir contrôler avec précision l'épaisseur des feuilles. Le dispositif du rattrapage du jeu peut être du type mécanique, avec vis-mère double maintenue sous pression par des ressorts, ou du type hydraulique, avec vérins de pression.

g) *Pupitre de commande*. Tout comme le conducteur d'une automobile a besoin d'un bon tableau de bord, l'opérateur d'une dérouleuse a besoin d'instruments de contrôle. Par exemple, un ampèremètre relié au moteur principal indique l'intensité requise pour le déroulage; quand la valeur indiquée est supérieure à la normale, un opérateur expérimenté sait qu'il doit remplacer l'outil ou ajuster le porte-outil. Un ou plusieurs manomètres, reliés aux vérins de commande des mandrins, indiquent si le billon est bien fixé ou non. Un tachymètre est également très utile, car il permet de connaître la vitesse de rotation des mandrins, etc.

Une machine à dérouler doit être très robuste; elle doit surtout être très rigide, car toute déformation élastique provoquée par les diverses contraintes aurait des conséquences fâcheuses, dont la première serait le manque d'uniformité de l'épaisseur des feuilles. On a parfois tendance à juger la qualité d'une machine en fonction de son poids; ce critère n'est pas négligeable, mais il en est d'autres tout aussi importants. La principale caractéristique d'une dérouleuse — la rigidité — dépend essentiellement de sa conception : elle doit être réalisée de sorte que les différentes charges soient distribuées sur une grande surface : plus les surfaces sont grandes et moindres sont les diverses sollicitations. Il importe également d'utiliser des matériaux appropriés; une structure en acier soudé a une résistance à la flexion deux fois moindre que celle d'une structure en fonte; c'est pourquoi on utilise de moins en moins l'acier pour des structures dont la principale qualité est la rigidité.

Premier stockage et massicotage

À la sortie de la dérouleuse, on a trois produits différents : des feuillets inutilisables, des feuillets utilisables et une feuille continue.

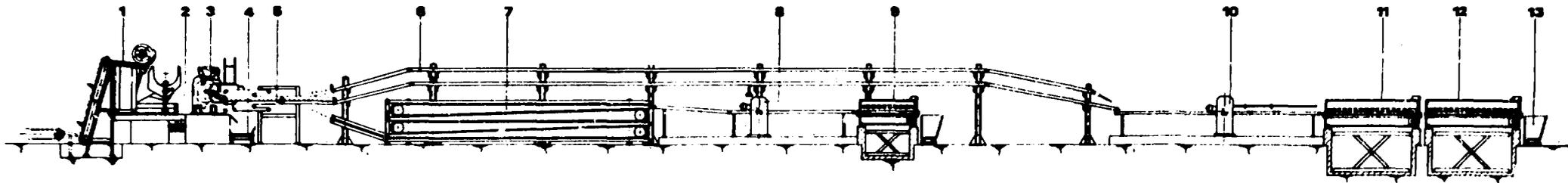
Les feuillets obtenus à la périphérie du billon sont de forme irrégulière et donc inutilisables pour la confection de contre-plaqués. On donne intentionnellement à ces feuillets une épaisseur d'environ 4 mm afin d'accélérer l'opération de déroulage. Un transporteur à bande (figure 2, 4) les recueille et les envoie vers la machine à fragmenter où ils sont transformés en éclats de bois qui serviront comme combustible ou pour la fabrication de panneaux de particules. Les feuillets déroulés après les précédents et avant que le billon ne soit parfaitement cylindrique sont utilisés pour constituer les plis internes des contre-plaqués (âme). Dans les panneaux de contre-plaqués à trois plis, l'âme est deux fois plus épaisse que les plis extérieurs. Ces feuillets sont envoyés sur un transporteur à bande (figure 2, 5) et transportés dans un stockage constitué par une série de transporteurs superposés (figure 2, 8); ce système, dit en zigzag, est très avantageux car il permet de stocker de nombreux feuillets dans un espace restreint. Chaque transporteur est équipé d'un rouleau guide qui fait pression sur les feuillets et les maintient bien à plat pour faciliter le transport.

Ce stockage est divisé en trois parties qui peuvent être commandées séparément ou en même temps, soit par le rouleau de la dérouleuse, soit par celui du massicot, lequel est installé à la sortie du stockage. Le processus est réglé parce que la dérouleuse ne produit ces feuillets que périodiquement alors que le massicot fonctionne en continu. La dérouleuse envoie les feuillets vers la première partie du stockage, puis le transporteur qui tourne à la même vitesse que la dérouleuse; le transporteur allant de la deuxième partie du stockage vers le massicot (figure 2, 9) fonctionne à une vitesse moindre.

Lorsque le billon est devenu cylindrique, on a toujours produit une feuille continue; à ce moment, la première partie du stockage est reliée à la deuxième partie, ainsi que le massicot. L'installation décrite est équipée d'un massicot horizontal (figure 3, 1) qui transforme les feuillets irréguliers en bandes plus ou moins larges aux bords parallèles. Les bandes sont amenées au massicot sur un transporteur à bande, à vitesse variable; des rouleaux de pression maintiennent les feuillets à plat. À la sortie du massicot, un autre transporteur ramène les feuillets dans une position de stockage définitive. La lame du massicot est à commande pneumatique; un rouleau à pression pneumatique maintient les feuillets en position pendant le massicotage. La vitesse de la lame peut être réglée et la production peut atteindre 80 m/mn. Un dispositif de commande à relais électromécaniques ou photoélectriques, détecte les défauts de forme des feuillets et les évite. Les feuillets qui ne sont pas utilisés par la machine à fragmenter sont envoyés vers la partie inutilisable des feuillets, est envoyée vers un stock où les feuillets sont empilés automatiquement dans des bennes ou dans des caisses. Les feuillets envoyés vers la machine à fragmenter sont envoyés vers un stock où ils sont empilés automatiquement en fonction de la quantité de feuillets stockés. Le stock est divisé en plusieurs parties et les feuillets sont envoyés vers la machine à fragmenter.

La bobine de papier est envoyée vers le stock de bobines. Quand l'enrouleur a fini son travail, la bobine est envoyée vers le stock. Le système de bobines est réglé de manière à ce que les bobines soient essentiellement envoyées vers le stock de bobines. Les bobines sont montées sur des bras mobiles qui tournent autour de la bobine; les bras sont envoyés vers le stock de bobines et la feuille continue est envoyée vers la machine à dérouler le papier. La machine à dérouler le papier est réglée de manière à ce que la feuille continue soit envoyée vers le stock de bobines (figure 2, 10). Les feuillets continus sont envoyés vers le stock de contre-plaqués (figure 2, 11). Les feuillets continus sont envoyés vers le stock de contre-plaqués (figure 2, 14). Les machines à fragmenter sont réglées de manière à ce que les feuillets continus soient envoyés vers le stock de contre-plaqués. Les feuillets continus sont envoyés vers le stock de contre-plaqués (figure 2, 14). Naturellement, il est possible de stocker les feuillets continus dans des magasins à bande pour augmenter le stock de feuillets continus. Les bobines de feuillets d'épaisseur constante. La figure 3 montre une installation particulièrement indiquée pour des grumes ne dépassant pas 50 cm de diamètre. Ce système, dit « à plateaux », se justifie quand la feuille continue de bois n'est pas suffisam-

Figure 3. Agencement pour la transformation de grumes ayant moins de 50 cm de diamètre



Légende : 1 Centrage géométrique et chargement automatiques
 2 Transporteur des rondins résiduels
 3 Dérouleuse à mandrins télescopiques
 4 Transporteur des feuillets inutilisables
 5 Transporteur des feuilles et feuillets utilisables
 6 Transporteurs superposés des feuilles

7 Transporteurs superposés des feuillets
 8 Massicot automatique
 9 Empileur de feuillets sous-dimensionnés
 10 Massicot automatique
 11 Empileur de feuillets normaux
 12 Empileur de feuillets sous-dimensionnés
 13 Collecteur des déchets

ment longue pour justifier l'opération d'enroulement. En outre, avec des grumes de petit diamètre, les différentes phases du déroulage se succèdent plus rapidement et le système à plateaux garantit que le massicot aura assez de feuilles à découper, même avec le stock limité se trouvant sur le transporteur à bande (figure 3, 6). Le système de stockage des feuilles pendant la seconde phase fonctionne selon le principe décrit plus haut, la seule différence étant que dans le système à plateaux il y a deux déflecteurs, l'un au début et l'autre à la fin du transporteur. Quand le premier déflecteur relie la dérouleuse (figure 3, 3) à un plateau pour son chargement, l'autre déflecteur relie un autre plateau au massicot pour déchargement. Des embrayages électromagnétiques, commandés par les déflecteurs, adaptent la vitesse des bandes transporteuses à la vitesse de la dérouleuse ou à celle requise par le massicot. Le massicot, à commande pneumatique, est associé à un transporteur à bande sur lequel est monté un dispositif pour le découpage automatique de la feuille à la longueur voulue. Le massicot peut débiter automatiquement des feuillets entiers, coupés en deux ou coupés en quatre, en éliminant naturellement les parties défectueuses. Les empileuses à la fin de la chaîne séparent automatiquement les divers formats. Les feuillets entiers sont divisés en deux groupes : première et seconde qualité.

Séchage

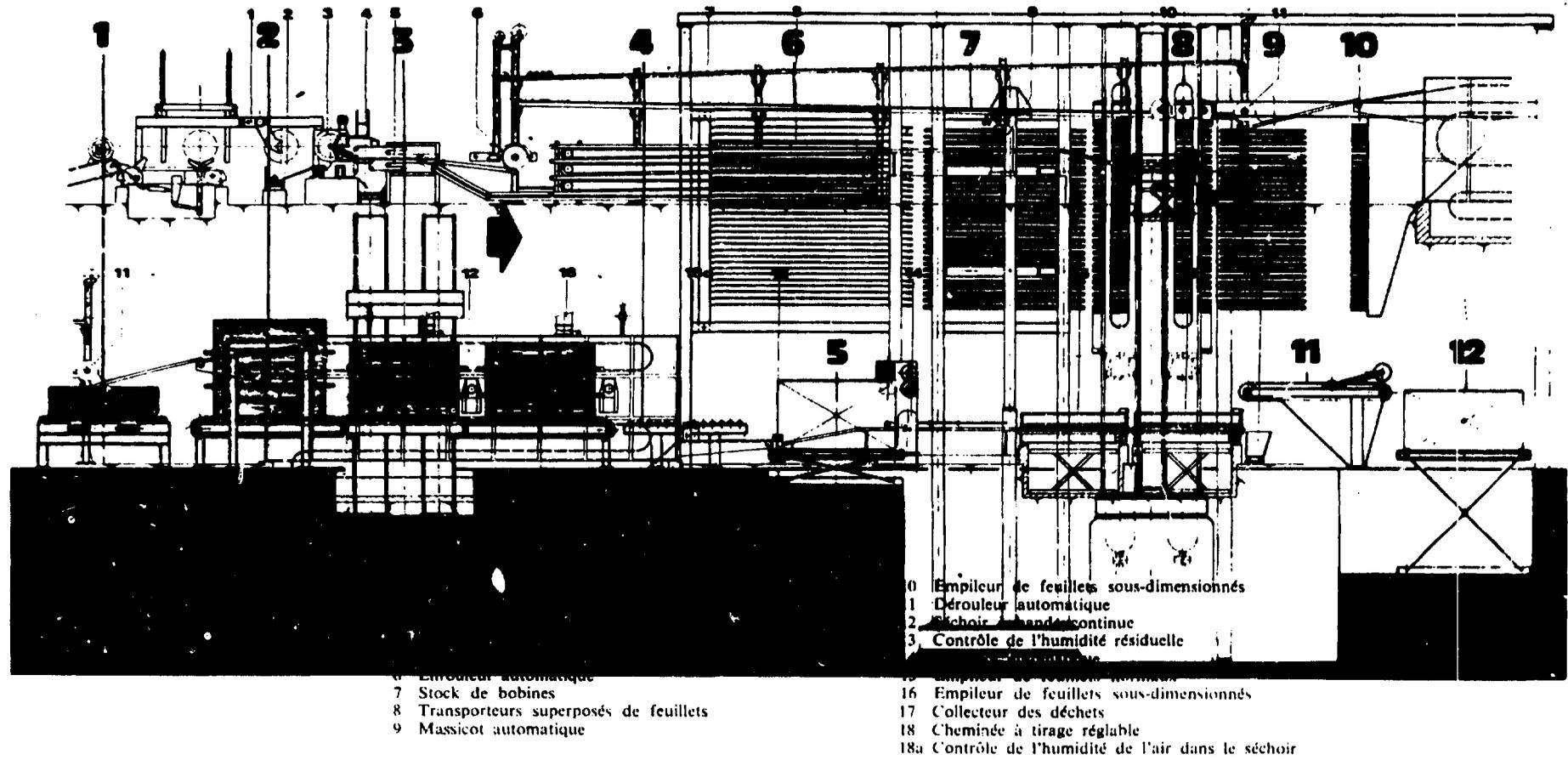
L'opération suivante est le séchage des placages humides. On dispose de deux méthodes de séchage, qui ne diffèrent pratiquement que par le système d'amenage et la disposition des placages dans le séchoir. On peut utiliser des séchoirs à bande continue (figure 4) ou des séchoirs à rouleaux (figure 5). Dans les premiers, le placage est introduit en continu dans la machine, avec les fibres perpendiculaires au sens d'avance; le placage est découpé aux dimensions voulues après le séchage (figure 4); dans les seconds, le placage est découpé alors qu'il est encore humide (figure 2), puis introduit dans le séchoir avec les fibres parallèles au sens d'avance (figure 5).

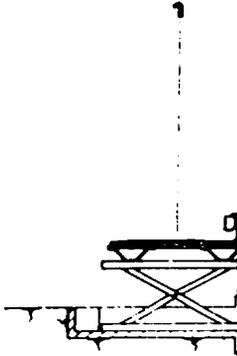
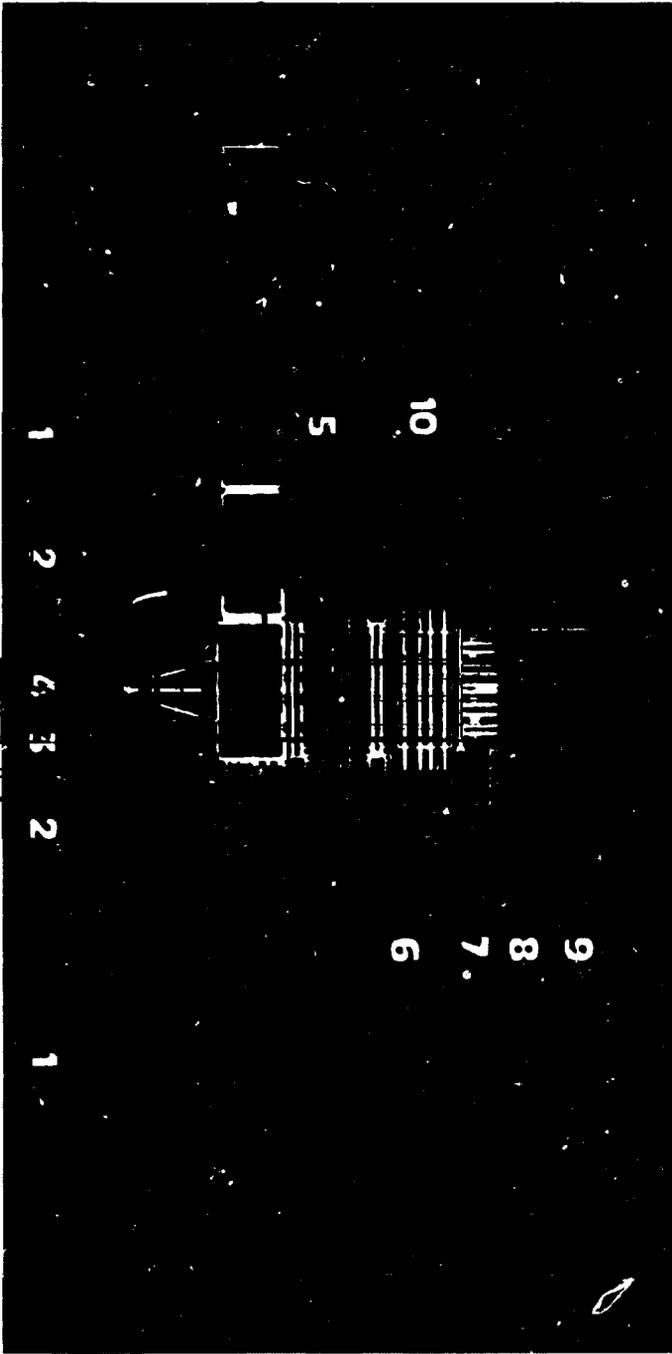
Les séchoirs à bande continue sont de plus en plus utilisés depuis quelques années, pour des raisons économiques; la qualité du séchage peut être moins bonne. Le schéma d'agencement de la figure 4 montre un séchoir continu à cinq étages; les quatre étages supérieurs servent pour le séchage, tandis que l'étage inférieur, qui est séparé du séchoir, sert à refroidir le placage séché de sorte que l'humidité résiduelle soit distribuée de manière uniforme. Le séchoir continu présente certainement de nombreux avantages. Le plus évident est que le placage est déjà séché quand il est découpé, de sorte que les feuilles auront exactement les dimensions requises pour la formation des panneaux, avec la certitude qu'il n'y aura pas de retrait tangentiel. En outre, les petits formats auront des chants droits et parallèles et seront donc prêts pour le jointage. Enfin, ce type de séchoir exige moins de main-d'œuvre et son maniement est facile. Le séchoir continu est très avantageux pour les bois tropicaux, plus spécialement pour les placages fins qui permettent de porter la vitesse à 50 m/mn. Malheureusement, quand la largeur du placage est sensiblement inférieure à celle du séchoir, le volume total de production diminue fortement. Aujourd'hui, les séchoirs continus sont réalisés dans diverses versions, avec des puissances différentes; ils permettent donc de résoudre de nombreux problèmes découlant des différentes espèces de bois et des diverses épaisseurs. Par exemple, on a réalisé des lignes de séchage à deux niveaux, où chaque bande se déplace à une vitesse différente, selon l'essence et l'épaisseur du placage. On trouve sur le marché des appareillages automatiques modernes pour la régulation de la température interne et le réglage du mélange d'air et de vapeur de séchage. On peut ainsi régler les températures de séchage et l'humidité en fonction des caractéristiques du placage.

Les séchoirs à rouleaux sont utilisés normalement pour le séchage de bois dit difficile. Il s'agit en général de bois contenant de grandes quantités d'eau distribuées de manière non uniforme. Quand cette eau s'évapore, le bois se contracte et des ondulations apparaissent sur le placage. Avec le séchoir à rouleaux, le risque de fendillement est pratiquement nul, étant donné que les placages sont de petites dimensions et peuvent se contracter librement. Pour utiliser les séchoirs à rouleaux rationnellement, il faut tout d'abord classer et séparer les placages, lors du massicotage, en fonction de l'humidité. Ceci exige de la part de l'opérateur une certaine connaissance des différentes essences; les feuilles de placage prennent différentes couleurs selon leur taux d'humidité, ce qui aide à les classer. Dans le cas typique du peuplier, des zones presque blanches ressortent nettement des zones sombres qui contiennent une très grande quantité d'eau.

Pour mesurer l'humidité résiduelle des placages après séchage, on dispose d'instruments, portatifs ou fixes, qui donnent des indications continues. Ils peuvent être utilisés pour régler automatiquement la température de séchage et la vitesse d'amenage des placages. Les feuilles qui ne sont pas suffisamment

Figure 4. Agencement avec séchoir à bande continue

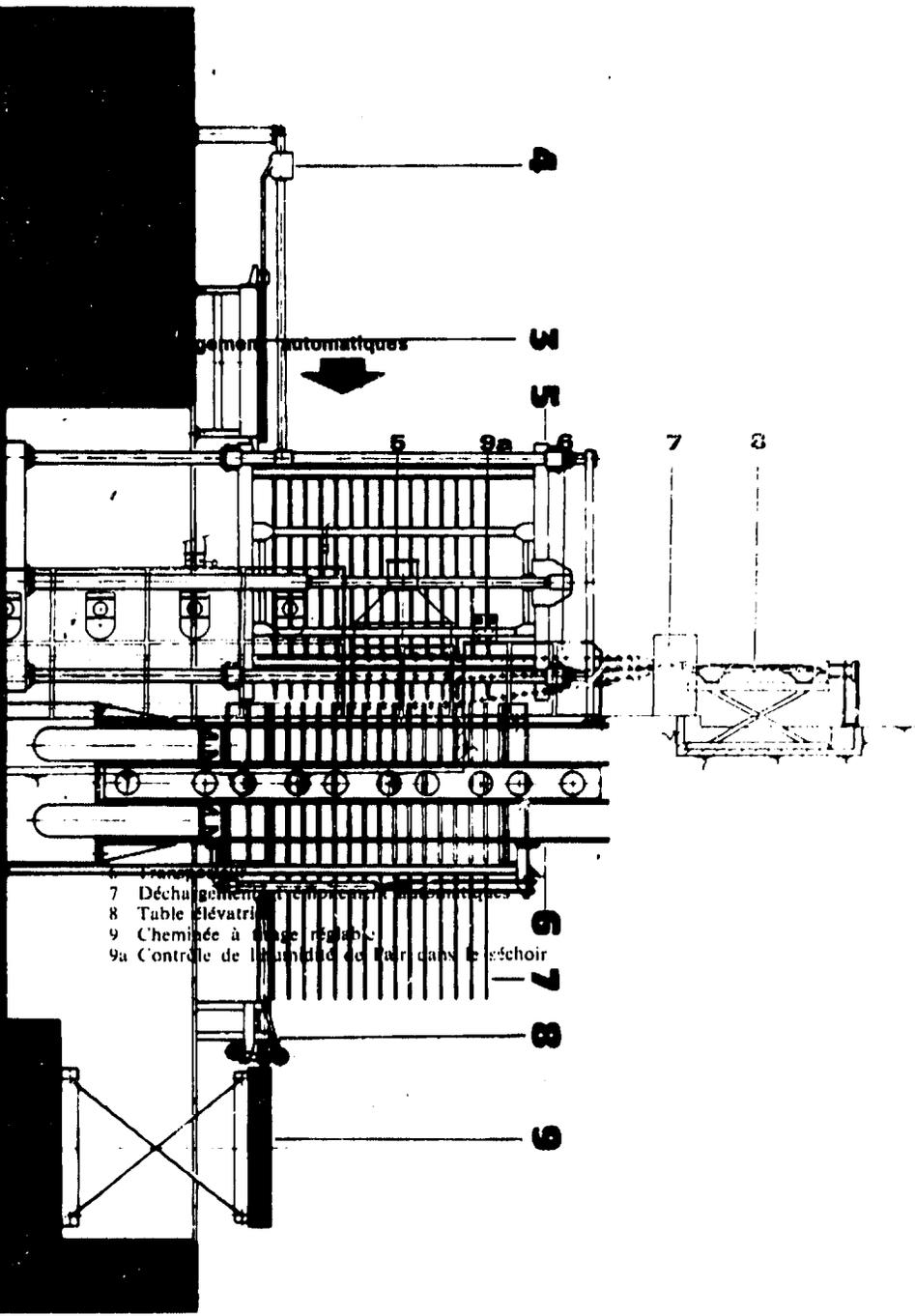




gemen automatiques



- 7 Déchargement et remplissage automatiques
- 8 Table élévatrice
- 9 Cheminée à tirage réglable
- 9a Contrôle de l'humidité de l'air dans le réchoir



sèches sont marquées automatiquement avec un liquide coloré, ce qui permet d'identifier facilement les feuilles à recycler. Un autre avantage important des séchoirs à rouleaux est la qualité de la production : les rouleaux compriment les placages pendant tout le séchage, de sorte qu'à la sortie les feuilles ont des faces compactes et lisses. Aujourd'hui, la main-d'œuvre nécessaire pour la conduite des séchoirs à rouleaux a été réduite grâce à l'installation de dispositifs entièrement automatiques de chargement, déchargement et stockage.

En conclusion, le choix entre séchoirs à bande continue et séchoirs à rouleaux doit être fait essentiellement en fonction des essences et de leur qualité. Il est rarement question d'une véritable concurrence entre les deux systèmes, bien que l'on ait tendance à préférer les séchoirs continus dans les installations modernes. Les séchoirs à rouleaux sont vraiment plus avantageux lorsqu'on doit sécher diverses essences aux caractéristiques différentes et quand la qualité du placage séché est une considération importante.

Jointage des placages

Dans les usines de contre-plaqué, il ne faut pas négliger certaines opérations considérées comme secondaires parce qu'elles exigent beaucoup de main-d'œuvre, mais qui permettent d'exploiter au maximum le bois déroulé. Nul n'ignore que la matière première représente à peu près la moitié du coût final du contre-plaqué. Les feuilles présentant des nœuds, des trous ou autres petits défauts peuvent être « réparées » : il suffit de découper la partie défectueuse et de la remplacer avec des pastilles de bois sans défaut. La méthode d'assemblage des placages est différente selon qu'ils ont été massicotés à l'état humide ou à l'état sec. Il existe deux méthodes de jointage; dans le premier cas, un fil de colle est placé en zigzag à cheval sur les deux chants; dans le second cas, de la colle thermoplastique est appliquée en divers points des chants à joindre. Les machines les plus modernes sont équipées d'un transporteur à bande sur lequel les feuilles de placage sont posées l'une à côté de l'autre et toutes les opérations — dressage des chants, jointage, encollage et massicotage — sont faites automatiquement. Cependant, le jointage n'est pas toujours nécessaire : pour former des panneaux de qualité moyenne, les feuilles destinées à constituer l'âme du panneau peuvent simplement être posées côte à côte, sans jointage, avant l'opération de pressage.

Préparation de la colle

Ce secteur de l'usine travaille indépendamment et son fonctionnement diffère d'une usine à l'autre. Cette question a fait l'objet d'un exposé au chapitre XI.

Formation des panneaux

Les placages sont juxtaposés, avec ou sans jointage, pour former des plis, lesquels sont ensuite superposés selon la configuration voulue pour former des panneaux. Les panneaux sont constitués d'un nombre impair de plis. Dans de nombreuses usines, les plis sont superposés à la main, de la façon suivante : un pli non encollé, un pli encollé sur les deux faces, un pli non encollé, etc.

Les usines modernes sont équipées de dispositifs à dépression qui prennent les plis dans différentes piles, les transportent et les disposent sur la table de formation des panneaux. Les encolleuses les plus utilisées sont du type à rouleaux, qui encollent simultanément les deux faces du placage. On utilise parfois les encolleuses à « rideau », où une fine pellicule de colle coule à travers un orifice calibré; la quantité de colle déposée sur la face du placage dépend de la vitesse d'avance. Ce type d'encolleuse ne peut enduire qu'une seule face du placage, ce qui risque de provoquer des tensions internes lors du pressage. Pour éviter cet inconvénient, les panneaux formés avec des encolleuses à rideau doivent subir un pré-pressage à froid avant le pressage à chaud.

Pressage

Dans les installations modernes, on procède au pressage préliminaire à froid, quel que soit le système d'encollage utilisé, car il présente les avantages suivants :

a) Suppression des feuilles d'aluminium contenant les panneaux lors du chargement dans la presse à chaud;

- b) Possibilité de réduire la hauteur des étages de la presse de 120-140 mm à 60 mm; ceci signifie que les presses sont plus compactes et à fermeture plus rapide;
- c) Possibilité d'utiliser des dispositifs automatiques de chargement et de déchargement à grande vitesse; quelques secondes suffisent pour le chargement de panneaux à presser et le déchargement simultané des panneaux pressés, quel que soit le nombre des étages de la presse;
- d) Meilleure répartition de l'humidité de la colle dans les divers plis des panneaux;
- e) Diminution des défauts et rejets dus au glissement des plis lors de la manutention et de l'introduction dans la presse;
- f) Réduction du temps de polymérisation de la colle.

Pour le pressage préliminaire à froid, on utilise des presses à un seul étage (deux étages dans certains cas) qui peuvent presser des piles de panneaux d'environ 1 m de hauteur. La pression exercée varie de 15 à 20 kgf/cm² selon l'espèce de bois et l'épaisseur des placages. La figure 6 montre une chaîne automatique de pressage. Normalement, les panneaux ne restent dans la presse à froid que pendant quelques minutes, selon les propriétés adhésives de la colle à la température ambiante. La colle peut être, indifféremment, à base d'urée ou de phénol.

Etant donné les niveaux élevés de production des usines modernes de contre-plaqué, les presses à chaud ont un minimum de 16 étages et peuvent en avoir jusqu'à 40. La pression exercée varie de 10 kgf/cm² pour les bois tendres à 25 kgf/cm² pour les bois durs. La figure 7 montre une presse à plusieurs étages. Les presses les plus fonctionnelles sont conçues de sorte que les panneaux soient chargés et déchargés sur la longueur des plateaux chauffants rectangulaires, bien que du point de vue mécanique cette solution soit moins compacte et plus coûteuse.

Les presses les plus modernes sont équipées de dispositifs qui ouvrent et ferment tous les étages en même temps; les plateaux chauffants sont chromés, pour prévenir la corrosion. Le chromage des plateaux favorise la transmission de la chaleur et améliore l'apparence des faces des panneaux. Pour des panneaux de 4 mm d'épaisseur, le temps de pressage n'est que de 3 minutes.

Actuellement, les plateaux des presses sont chauffés par de l'eau à haute température, qui circule à une vitesse appropriée et est recyclée. On peut aussi utiliser de l'huile diathermique, dont la température peut dépasser 100 °C sans qu'elle entre en ébullition. Dans les très grandes installations, où les presses ont plus de 20 étages, il y a deux chaînes de formation des panneaux.

Des presses à un seul étage ont été mises sur le marché au cours de la dernière décennie. Avec ces presses, l'optimisation du processus de fabrication repose sur un concept totalement différent. A la place de nombreux étages superposés contenant chacun un panneau, la presse à un seul étage n'a que deux plateaux, mais leurs dimensions sont telles que l'on peut presser en même temps plusieurs panneaux côte à côte. Ce type de presse présente les avantages suivants :

- a) Possibilité d'utiliser toute la surface des plateaux, même avec des panneaux de dimensions différentes;
- b) Réduction des temps morts : ouverture et fermeture de la presse, chargement et déchargement des panneaux. Le chargement et le déchargement sont assurés par un long transporteur à bande qui traverse la presse;
- c) Construction simple, conduite facile et possibilité d'adaptation au pressage de types spéciaux de contre-plaqué.

Les plateaux des presses à un seul étage peuvent avoir jusqu'à 2,80 m de large et 12 m de long; la pression exercée peut atteindre 25 kg/cm². Il est évident que la production d'une telle presse n'est pas très élevée et il est donc souvent nécessaire d'en installer plusieurs dans la même usine. Les presses à un seul étage sont particulièrement indiquées pour l'application de placages décoratifs sur des panneaux de contre-plaqué.

Déclignage et ponçage

Le déclignage consiste à dresser les quatre rives d'un panneau pour qu'elles soient parfaitement rectilignes et régulières. On utilise deux décligneuses doubles, reliées par un dispositif de transfert angulaire, de sorte que l'on peut dresser les quatre rives en un seul passage. Les lames sont à mise rapportée en carbure métallique.

Figure 6. Chaîne automatique de pressage, avec prépressage

Légende : 1 Transporteur de la formation des panneaux
2 Transporteur à la presse préliminaire
3 Presse préliminaire (compactage)
4 Transporteur intermédiaire
5 Table élévatrice
6 Introduction des panneaux dans le chargeur

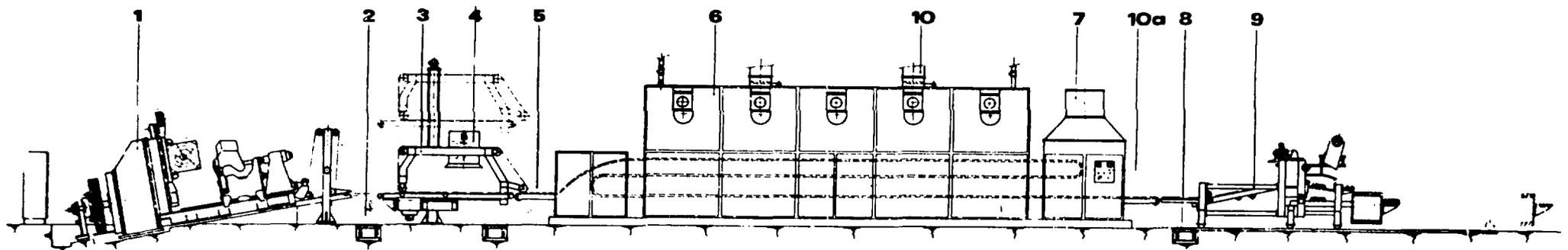
7 Chargeur de la presse
8 Presse à plusieurs étages
9 Déchargeur de la presse
10 Extracteur du déchargeur
11 Extracteur des panneaux
12 Table d'empilement des panneaux

Les panneaux sont ensuite poncés afin que leurs faces soient plus lisses et aient un aspect plus agréable. Toutes les ponceuses modernes sont à bande abrasive large; certaines ne sont utilisées que pour le ponçage de panneaux de faible épaisseur, tandis que d'autres servent à la fois au calibrage et au ponçage. Les deux faces d'un panneau peuvent être poncées en un seul passage si l'on installe deux machines en série : sur la première, la bande abrasive passe sur le panneau; sur la seconde, elle passe

Figure 7. Presse à plusieurs étages, à chargement et déchargement automatiques

- Légende :*
- | | | | |
|---|-----------------------------------|----|---------------------------------|
| 1 | Table de formation des panneaux | 6 | Presse à plateaux chauffés |
| 2 | Table intermédiaire | 7 | Déchargeur de la presse |
| 3 | Table élévatrice | 8 | Extraction des panneaux |
| 4 | Pousseur automatique des panneaux | 9 | Table d'empilement des panneaux |
| 5 | Chargeur de la presse | 10 | Pupitre de commande |

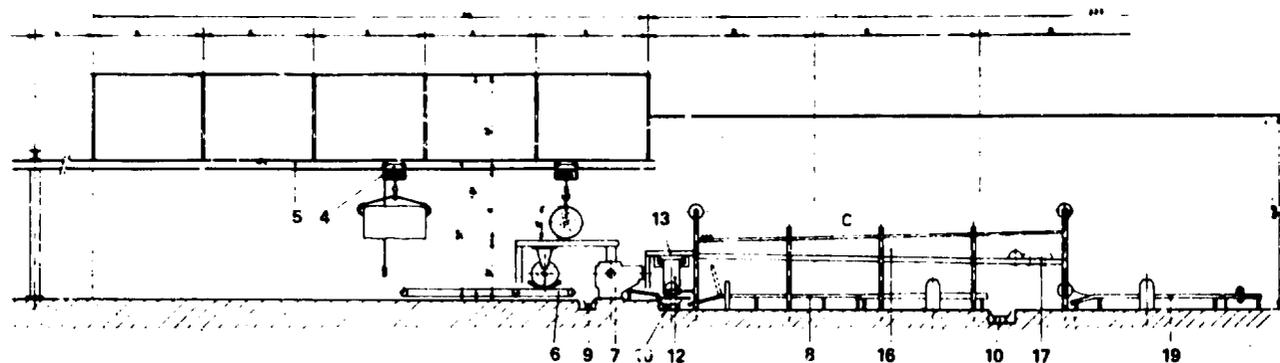
Figure 8. Schéma d'une installation de tranchage (transformation d'un bloc de bois en placages séchés)



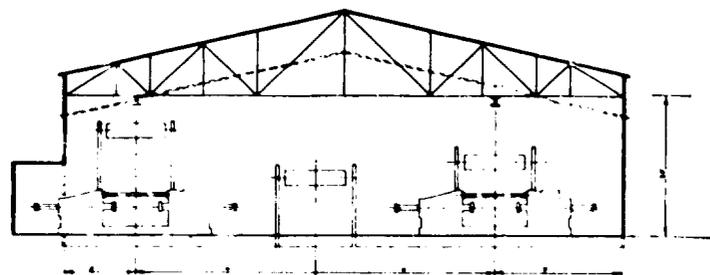
Légende : 1 Francheuse verticale
 2 Table élévatrice
 3 Transporteur de connexion
 4 Préséchoir
 5 Table élévatrice

6 Séchoir à bande continue
 7 Chambre de refroidissement
 8 Table élévatrice
 9 Empileur de placages secs
 10 Cheminée à tirage réglable
 10a Contrôle de l'humidité de l'air dans le séchoir

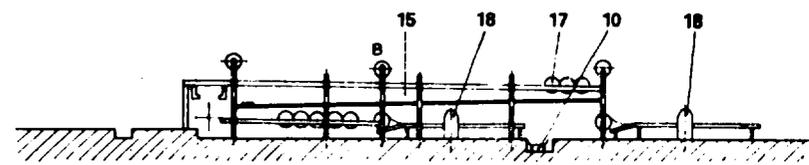
Figure 9. Agencement d'une fabrique de contre-plaqués



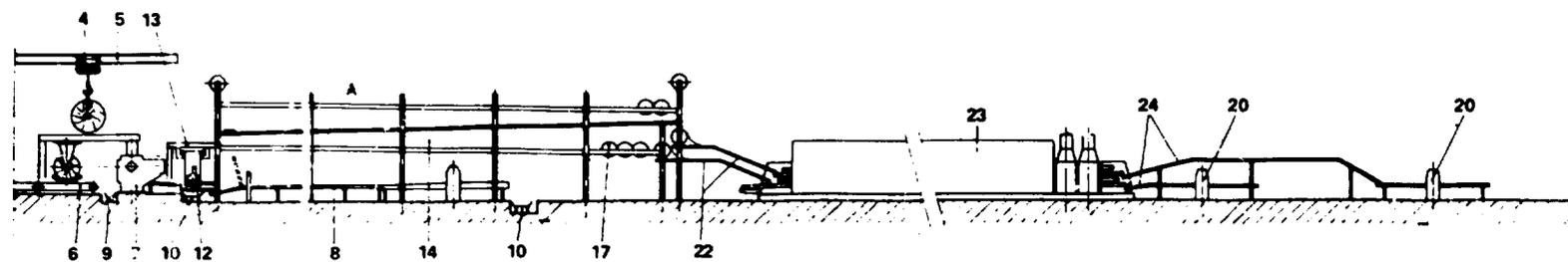
A. Vue de face : section déroulage



B. Vue de côté

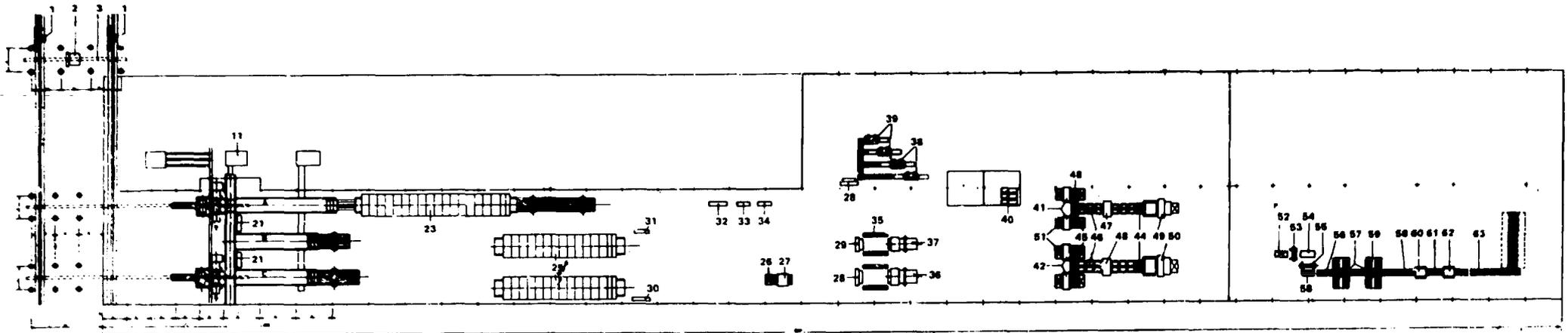


C. Vue de face : section enroulement



D. Vue de face : section séchage

Figure 9 (suite)



E. Vue d'en haut

- Légende :*
- | | | | |
|------------|---|------------|---|
| 1 | Deux tronçonneuses électriques | 27 | Ponceuse automatique à bande supérieure |
| 2 | Ecorceuse | 28, 29 | Trois massicots automatiques (placages isolés) |
| 3 | Palan électrique | 30, 31, 32 | Trois massicots automatiques (paquets de placages) |
| 4 | Trois palans électriques | 33, 34 | Deux massicots à deux sections symétriques |
| 5 | Chemin de roulement aérien des palans | 35 | Quatre transporteurs à bande |
| 6 | Deux postes de centrage optique et de chargement des grumes | 36, 37 | Deux machines à jointer transversalement |
| 7 | Deux dérouleuses | 38, 39 | Quatre machines à jointer longitudinalement |
| 8 | Deux chaînes de traitement des déchets | 40 | Trois machines à mélanger la colle |
| 9 | Transporteur de rondins résiduels | 41, 42 | Quatre encolleuses |
| 10 | Deux transporteurs des déchets du déroulage | 43, 44 | Six tables élévatrices à rouleaux |
| 11 | Machine à fragmenter les déchets | 45 | Deux tables à rouleaux |
| 12 | Deux chariots suspendus de transport des hobines | 46 | Quatre tables à rouleaux doubles |
| 13 | Bâti du dispositif d'enroulement des bobines | 47 | Compacteuse à froid, pour panneaux 2 440 × 1 525 mm |
| 14, 15 | Magasin de bobines, à deux étages | 48 | Compacteuse à froid, pour panneaux 3 050 × 1 525 mm |
| 16 | Magasin de bobines, à un étage | 49, 50 | Presse à plateaux chauffés, à 32 étages |
| 17 | Quatre-vingts bobines enrouleuses | 51, 52 | Onze tables élévatrices hydro-électriques |
| 18, 19, 20 | Cinq massicots à commande pneumatique | 53, 55 | Deux délignieuses doubles |
| 21 | Deux massicots automatiques | 54 | Transporteur entre les délignieuses |
| 22 | Deux transporteurs à bande | 56, 57 | Cinq tables à rouleaux et à billes |
| 23 | Séchoir en continu, avec chambres de refroidissement | 58, 59 | Huit tables élévatrices à rouleaux |
| 24 | Transporteur à bande, à deux étages | 60 | Ponceuse à bande inférieure |
| 25 | Deux séchoirs à rouleaux, avec chambres de refroidissement | 61, 63 | Deux transporteurs à rouleaux moteurs |
| 26 | Élévateur hydro-électrique | 62 | Ponceuse à trois bandes supérieures |

sous le panneau. Les machines les plus modernes ont deux ou plusieurs bandes abrasives, au-dessus et au-dessous de la zone de passage des panneaux.

Tranchage

Pour finir, il faut évoquer les panneaux de contre-plaqué revêtus d'un placage sur une ou deux faces. Ces placages ont environ 0,6 mm d'épaisseur; ils ne sont pas déroulés sur des rouleaux, mais tranchés sur des blocs. On les appelle « placages décoratifs ».

Etant donné que cette opération est souvent faite dans des usines de contre-plaqué, la figure 8 donne le schéma d'une installation de tranchage.

Agencement d'une usine de contre-plaqué

La figure 9 donne une vue schématique de l'agencement d'une usine de contre-plaqué utilisant des essences tropicales; deux équipes assurent le fonctionnement des dérouleuses et des presses.

XIV. Choix des installations d'ennoblissement des faces des panneaux en bois*

L'utilisation directe des panneaux en bois — tels que contre-plaqués, panneaux de fibres et surtout panneaux de particules — sans ennoblissement des faces pour améliorer leur apparence et leurs caractéristiques physiques et chimiques a pratiquement disparu (sauf pour certains panneaux utilisés dans l'emballage). En général, les faces des panneaux de contre-plaqués, des panneaux de fibres et des panneaux de particules destinés aux industries du bâtiment, du meuble et des moyens de transport sont stratifiées. Par « ennoblissement des faces », on entend l'amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques. Par « stratification », on entend un procédé qui améliore les caractéristiques physiques et mécaniques et, en outre, confère une apparence agréable à la vue et au toucher. Les principales qualités acquises par stratification sont la résistance aux rayures, aux chocs, à l'humidité et à la chaleur, ainsi qu'à certains produits d'entretien ménagers. Ces caractéristiques peuvent atteindre des valeurs très variables, qui ne correspondent pas toujours aux normes internationales et qui dépendent du support des matériaux utilisés (papier et résine) et du procédé appliqué.

Le vernissage et le revêtement des panneaux avec des feuilles de chlorure de polyvinyle (CPV) ne sont pas traités dans le présent chapitre, car ils ne constituent pas une véritable stratification.

Supports et matériaux de stratification

Les supports sont :

Panneaux de contre-plaqués

Panneaux de fibres

Panneaux de particules (en raison de leur emploi prédominant dans les industries du bâtiment et du meuble, on leur a donné ci-après la plus grande place)

Les matériaux de stratification comprennent :

Stratifiés décor

Papiers imprégnés avec mélamine

Papiers imprégnés avec méiamine modifiée avec résines uréiques ou acryliques

Supports

Panneaux de contre-plaqués (de 3 à 25 mm) à résines uréiques

Les contre-plaqués de qualité inférieure sont normalement destinés à l'industrie de l'emballage; ceux de belle qualité sont utilisés dans la fabrication de portes et de meubles. Ces derniers font ultérieurement l'objet d'un vernissage, ou même d'une impression et d'un vernissage. Aujourd'hui, la stratification est faite presque exclusivement avec des papiers imprégnés de résines diallyphtaliques, de résines uréiques ou uréiques modifiées. Un autre procédé consiste à encoller des papiers légers (environ 40 g/m²) avec des colles à base de copolymères de chlorure de polyvinyle (CPV) ou d'acétate de polyvinyle (APV), ou avec

* Par F. T. Slodyk, expert-conseil en panneaux à base de bois. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/16.)

des colles uréiques: on dispose pour cela de divers types de papiers, qui seront décrits ultérieurement, lorsqu'il sera question de la stratification des panneaux de particules.

Panneaux de contre-plaqué à résines phénoliques (type « marin »)

Les panneaux de contre-plaqué à résines phénoliques peuvent être fabriqués, avec faces canoblies, selon deux procédés : en une phase ou en deux phases. Dans le premier cas, le placage encollé, inséré entre des papiers imprégnés de résines phénoliques, est recouvert par des papiers imprégnés de résines phénoliques et pressé avec l'ensemble du panneau. Ce procédé donne lieu à beaucoup de rebuts, dus aux imperfections du placage.

Dans le second cas, le panneau de contre-plaqué est d'abord formé sans revêtement avec des papiers imprégnés. Il est ensuite contrôlé et sélectionné, puis ennobli par un autre passage à la presse à plusieurs étages ou à la presse à un seul étage, selon le type des papiers à résines phénoliques utilisés. Ce procédé est plus apprécié et son emploi se généralise. Le temps de pressage est d'environ 6-10 minutes; la pression est d'environ 15-18 kgf/cm², selon le type de bois; la température est d'environ 145 °C.

Les domaines d'utilisation des panneaux ainsi traités sont la construction (coffrages), les conteneurs, les wagons de chemin de fer, etc.

Panneaux de fibres

Abstraction faite des panneaux de fibres dont les faces sont vernies au cours de la fabrication, des panneaux à faces imprimées et vernies et des panneaux « composés » (deux ou plus pressés ensemble), il existe deux procédés de stratification :

a) Procédé chaud/froid, dans des presses à plusieurs étages, avec papiers imprégnés principalement de mélamine ou de mélamine modifiée. Le temps de pressage est d'environ 10-15 minutes; la température de travail est d'environ 140-145 °C; la pression est d'environ 40 kg/cm²;

b) Procédé chaud/chaud, dans des presses à plusieurs étages (ou, rarement, à un seul étage), avec papiers diallyphtaliques. On utilise surtout des presses à plusieurs étages manuelles ou semi-automatiques, car ces papiers étant très souples et assez collants ne conviennent pas pour les presses automatiques, notamment celles à un seul étage qui sont ultra-rapides.

La stratification des panneaux de fibres par le procédé chaud/froid, avec papiers mélaminiques, dans des presses à un seul étage a eu peu de succès en raison des difficultés techniques dues au poids spécifique élevé du panneau et à sa structure qui freine la libération des gaz dégagés pendant la stratification.

Panneaux de particules

Ces panneaux étant le support le plus utilisé dans les procédés de stratification, il faut respecter tout spécialement les exigences relatives à leurs qualités. Le panneau à stratifier doit, non seulement correspondre aux diverses normes nationales ou internationales (par exemple DIN 52360), mais aussi posséder les caractéristiques voulues pour que le résultat soit satisfaisant, conforme aux normes et acceptable par l'utilisateur. Les caractéristiques les plus importantes sont les suivantes :

a) Le poids spécifique doit être constant sur toute la surface du panneau et égal ou supérieur à 0,65;

b) La structure des faces doit être absolument uniforme et se prêter à l'application de papiers légers (environ 40 g/m²); les faces doivent être de couleur claire ou faciles à peindre; le panneau doit être très mince et, si possible, ne contenir que des bois de même qualité;

c) Les faces doivent être exemptes de poussière, graisse, paraffine, taches de colle, etc.; elles doivent être parfaitement polies (grain minimum 120) et sans traces laissées par le papier émeri pendant le polissage;

d) L'épaisseur doit être uniforme (tolérance 0,1 mm);

e) La structure du panneau doit être parfaitement équilibrée et la teneur en résines des faces ne doit pas être inférieure à 12 %.

Du fait de la pénurie de bois, les panneaux de particules sont fabriqués avec des déchets, y compris les écorces, qui rendent la surface peu uniforme, assez déplaisante à l'œil et avec des caractéristiques physiques et mécaniques laissant à désirer. Pour remédier à ces défauts, on recherche de nouvelles solutions, techniquement et économiquement valables, telles que l'utilisation de papiers « bouche-pores », dont il sera question plus loin.

Matériaux de stratification

Les papiers ci-après sont utilisés dans les procédés de stratification :

a) Papiers imprégnés de résine mélamine ou mélamine modifiée. Dans les procédés chaud/froid et chaud/chaud, le poids des papiers avant imprégnation se situe généralement entre 80 et 120 g/m²;

b) Papiers imprégnés de résine mélamine ou mélamine modifiée avec résine urée. Pour le procédé chaud/chaud, le poids des papiers avant imprégnation est généralement compris entre 80 et 120 g/m²;

c) Papiers « bouche-pores » (deux types), imprégnés de résine urée, pour application à l'aide de colles ou autocollants. Le poids des papiers non autocollants est compris entre 125 et 220 g/m²; la température de travail est d'environ 120 °C; la pression est de 16 kgf/cm² et le temps nécessaire est d'environ 120 secondes. Le poids des papiers autocollants est compris entre 90 et 200 g/m²; la température est de 160 °C; la pression est de 12-18 kgf/cm² et le temps est d'environ 90 secondes;

d) Papiers imprégnés de résine mélamine ou mélamine modifiée; ils sont appliqués avec une colle uréique ou vinylique; le poids des papiers avant imprégnation est compris entre 120 et 180 g/m²;

e) Papiers légers, imprégnés de résine urée ou urée modifiée avec acrylique, les faces devant être ou non enduites de résine polyester; ces papiers sont destinés à l'encollage sur la face à stratifier, qui sera ensuite vernie ou non; le poids de ces papiers est compris entre 30 et 40 g/m²;

f) Papiers imprégnés ou enduits de résine mélaminique, ou résine uréique/acrylique pour application directe sous presse; le temps de pressage (à condition que la résine enduite soit déjà bakéalisée) est d'environ 2 secondes; le poids des papiers avant imprégnation est compris entre 90 et 150 g/m²; la pression est d'environ 10 kgf/cm²; la température dépend de la façon dont le papier a été enduit de résine en fusion, mais elle se situe généralement aux environs de 150 °C;

g) Papiers imprégnés de résine uréique/acrylique et de micro-perles de résine acrylique, appliquées selon un procédé de pénétration par dépression; le poids des papiers avant imprégnation est compris entre 90 et 120 g/m² (il est possible d'utiliser des papiers plus légers).

Tous les types de papiers (à l'exception des papiers à mélamine déjà bakéalisée) peuvent être pressés avec des matrices simulant les pores du bois. Sur les papiers imprégnés de résine acrylique modifiée, il est possible d'imprimer les pores pendant le procédé d'imprégnation ou ultérieurement, au cours de la stratification, que ce soit à l'aide de calandres appropriées ou dans une presse avec plateaux ou matrices structurés. Il existe plusieurs variétés de chaque type de papiers; il faut les choisir en fonction du panneau, de son utilisation finale et des caractéristiques recherchées, en tenant dûment compte des coûts de fabrication et du prix de revient final.

Application des papiers : procédés et tendances

La stratification des panneaux de particules peut être faite selon quatre méthodes principales.

Méthode 1

- Fabrication de papiers imprégnés
- Fabrication du panneau de particules
- Fabrication du stratifié décor
- Application du stratifié décor à froid ou à chaud

Méthode 2

- Fabrication de papiers imprégnés
- Fabrication du panneau de particules
- Stratification par procédé chaud/froid ou par procédé chaud/chaud

Méthode 3

Fabrication de papiers imprégnés

Fabrication du panneau de particules et stratification simultanée avec les papiers imprégnés

Méthode 4

Fabrication de papiers imprégnés ou enduits

Fabrication du panneau de particules

Application des papiers imprégnés ou enduits

En raison du coût élevé de l'opération, la stratification par application de stratifié décor (méthode 1) ne peut être faite que sur des surfaces planes et polies. En raison des difficultés techniques et du nombre des rebuts, la stratification simultanée (méthode 3) ne se développe que très lentement. En revanche, la stratification par application de papiers imprégnés (méthode 4) s'est développée rapidement et a fait l'objet de grands progrès sur le plan technologique; les innovations ont porté sur les résines, sur les papiers bruts (non imprégnés) et les papiers imprégnés, sur la technique d'application des papiers et sur les installations nécessaires.

L'augmentation continue de la demande de panneaux stratifiés dans de nombreux domaines a entraîné une modification des normes relatives aux caractéristiques des surfaces; certaines normes (par exemple DIN 68754) ne sont toujours pas respectées. La querelle entre les partisans de normes très strictes et les partisans d'un bon rapport qualité/prix en fonction de l'utilisation finale ne cesse pas. En définitive, la question sera tranchée par les utilisateurs (le marché), et les techniciens devront établir de nouvelles normes concernant les caractéristiques des surfaces, d'où découlera une évolution dans le domaine des installations.

Les statistiques mettent en évidence l'intérêt porté à la stratification dans ses diverses formes : alors que la quantité des panneaux revêtus d'un placage en bois naturel diminue, celle des panneaux stratifiés augmente; en outre, 25 % environ des panneaux de particules fabriqués sont stratifiés. Ceci explique l'essor continu de la technologie de la stratification.

Méthodes de stratification et amélioration des installations

Revêtement avec stratifié décor

Le revêtement avec stratifié décor est l'une des plus vieilles méthodes d'application directe du stratifié décor sur les faces des panneaux de particules ou de tous autres panneaux à base de bois. Le revêtement est appliqué sur les deux faces, pour éviter tout gauchissement; une face est recouverte d'un matériau de belle qualité, tandis que l'autre est revêtue d'un matériau moins cher, qui sert exclusivement à équilibrer les tensions et, donc, à éviter tout gauchissement. L'application est très simple (figures 1, 2 et 3).

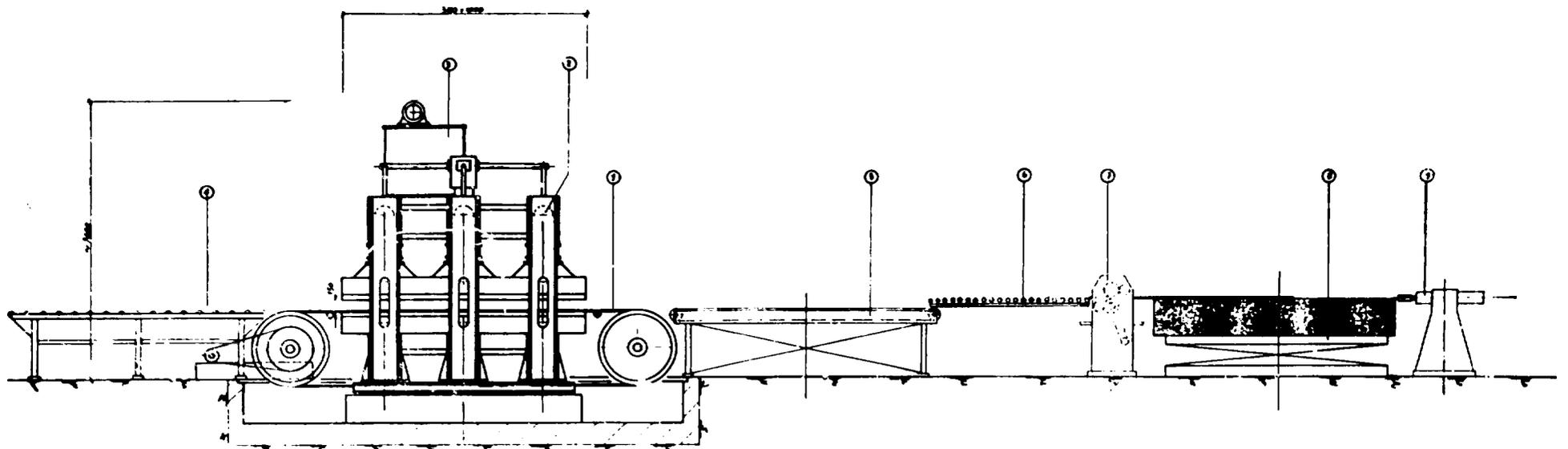
Sur le tapis de chargement qui précède immédiatement la presse, on constitue un sandwich en superposant successivement un stratifié, le panneau de particules encollé avec des résines uréiques ou à base de copolymères de APV et de CPV, puis un second stratifié. Le sandwich est ensuite introduit dans la presse. La température de la presse est comprise entre 100 et 140 °C; la pression est de 5 à 10 kgf/cm²; le temps de pressage dépend du type de résines, de la température et de l'épaisseur du stratifié, mais il ne dépasse pas en général 90 secondes. Le pressage terminé, le panneau stratifié est retiré de la presse par un chariot à ventouses ou par le tapis de chargement si la presse est du type à placage.

Cette méthode est appliquée pour obtenir des surfaces ayant des caractéristiques particulières, conformes aux normes NEMA LD1-1-01, DIN 53799, ou d'autres. Si on utilise une presse à un seul étage (voir figure 3), on peut également faire une stratification chaud/froid, étant donné que la presse peut fournir une pression de 25 kgf/cm².

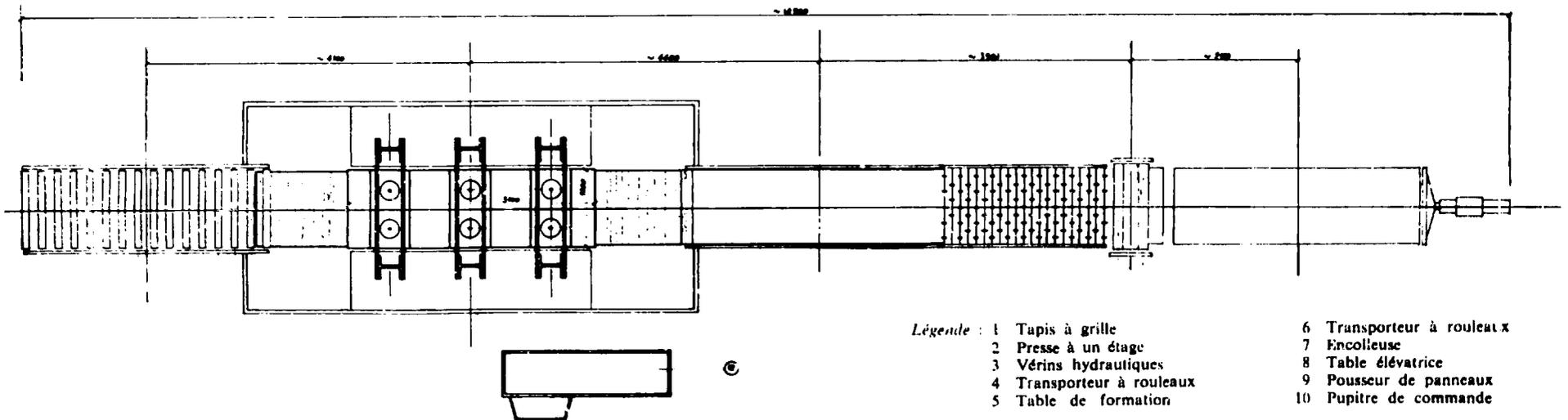
Stratification selon le procédé chaud/froid

Ce procédé, illustré par la figure 4, est réalisé dans des presses à plusieurs étages. Les papiers imprégnés sont appliqués sur les deux faces du panneau de particules; pour obtenir un aspect plus

Figure 1. Pressage avec presse chaude à un étage



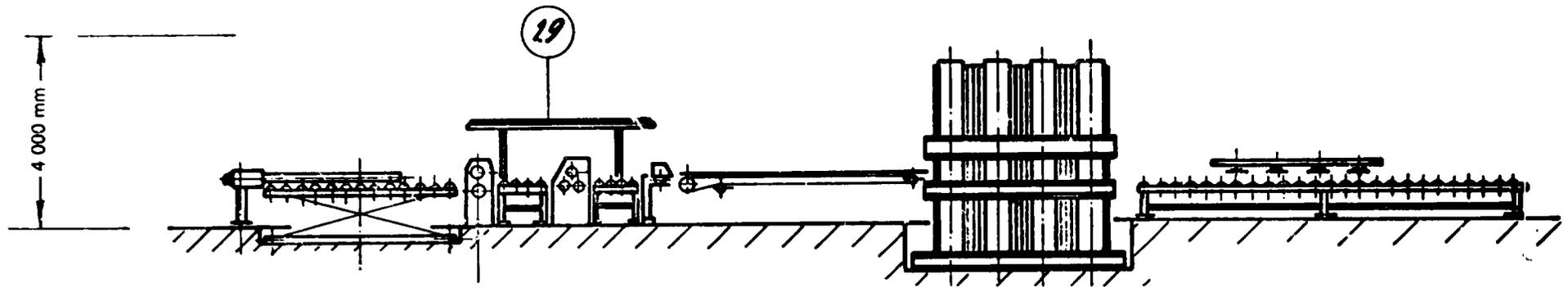
A. Vue de face



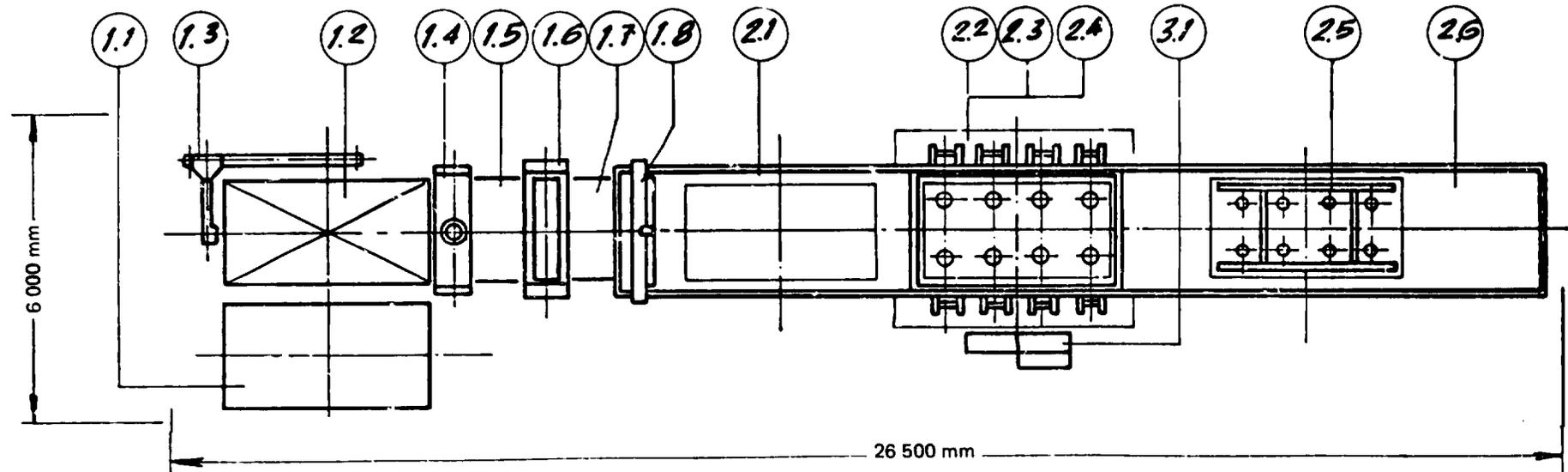
B. Vue d'en haut

- | | | |
|-----------|---------------------------|---------------------------|
| Légende : | 1 Tapis à grille | 6 Transporteur à rouleaux |
| | 2 Presse à un étage | 7 Encolleuse |
| | 3 Vérins hydrauliques | 8 Table élévatrice |
| | 4 Transporteur à rouleaux | 9 Pousseur de panneaux |
| | 5 Table de formation | 10 Pupitre de commande |

Figure 2. Pressage avec presse à un étage



A. Vue de face



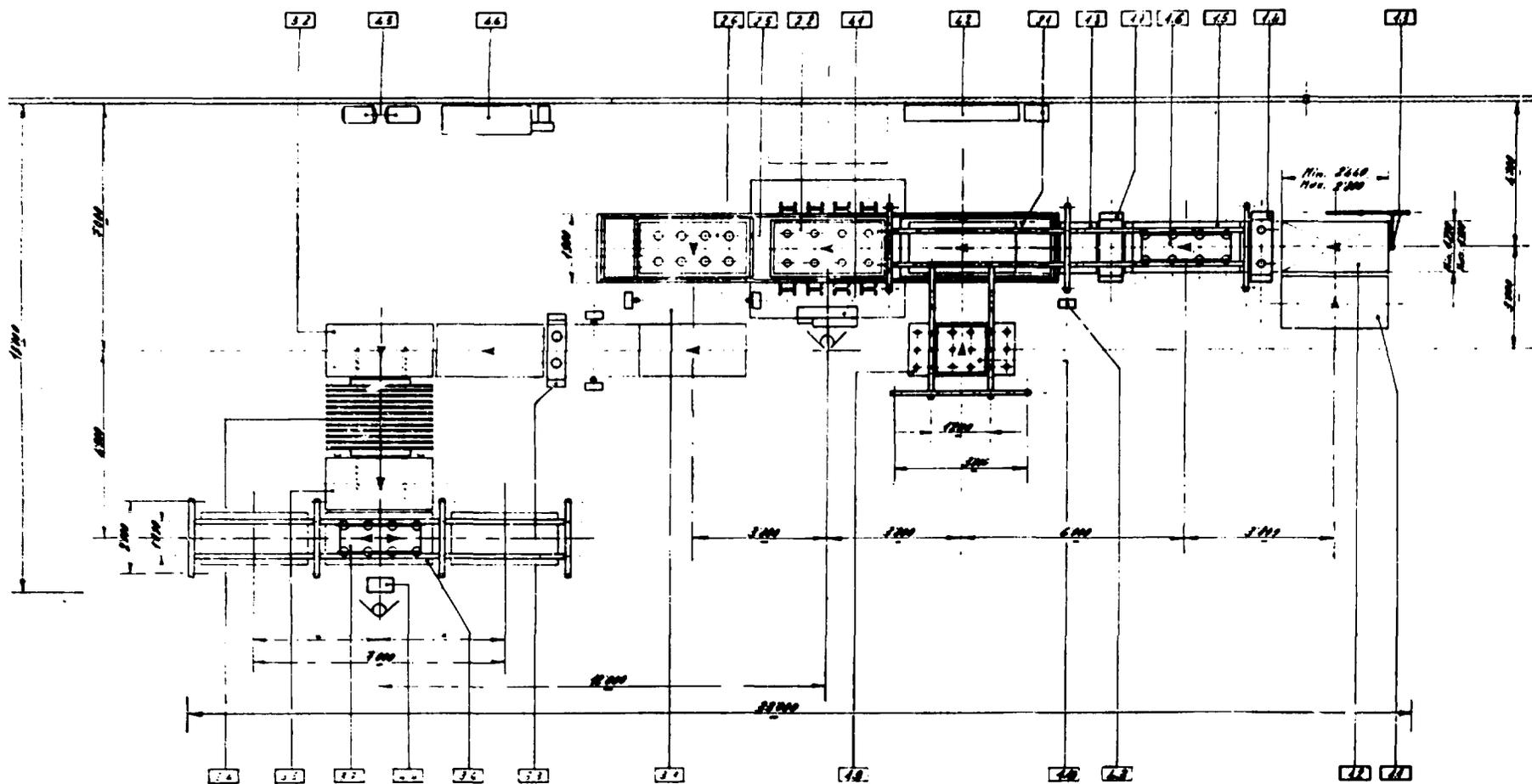
B. Vue d'en haut

Légende : 1.1 Table à rouleaux moteurs
 1.2 Table élévatrice à rouleaux moteurs
 1.3 Pousseur pneumatique
 1.4 Machine à brosse
 1.5 Table à disques
 1.6 Encol'use

1.7 Table à disques
 1.8 Chariot à pinces
 1.9 Table à papiers
 2.1 Dispositif d'alimentation
 2.2 Presse à un étage
 2.3 Commande des vérins hydrauliques

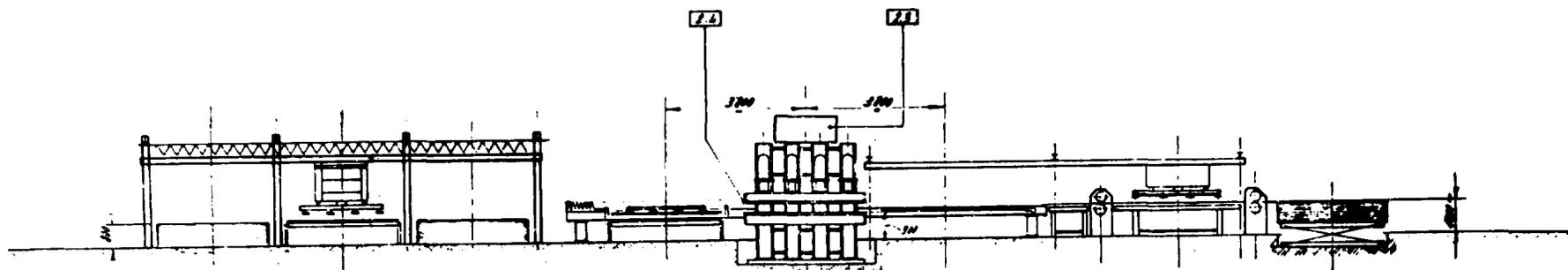
2.4 Dispositif de tension des feuilles
 2.5 Dispositif d'évacuation
 2.6 Table à rouleaux moteurs
 3.1 Pup'itre de commande

Figure 3. Pressage, avec presse à un étage, pour placage et stratification



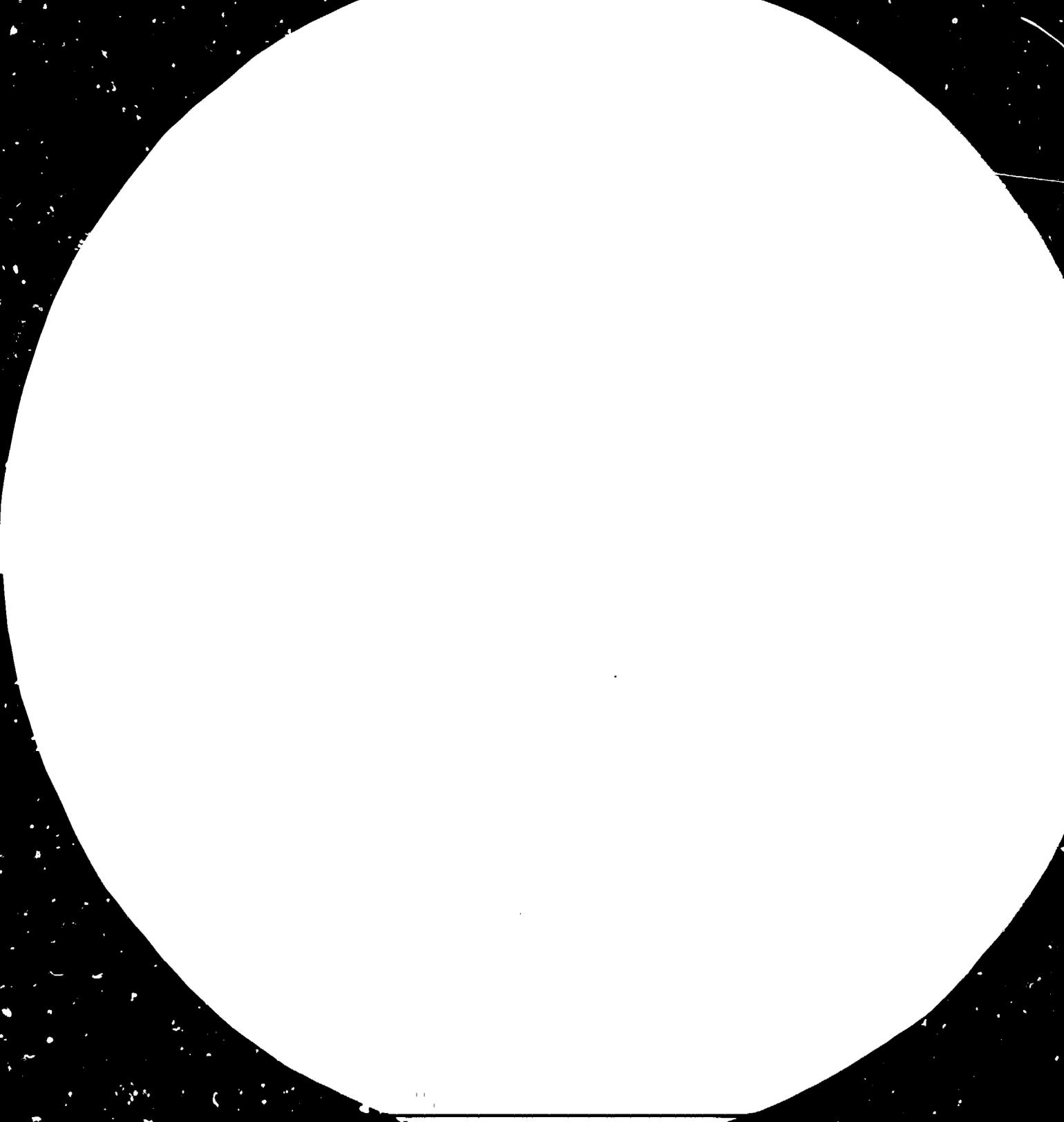
A. Vue d'en haut

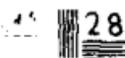
Figure 3 (suite)



B. Vue de côté

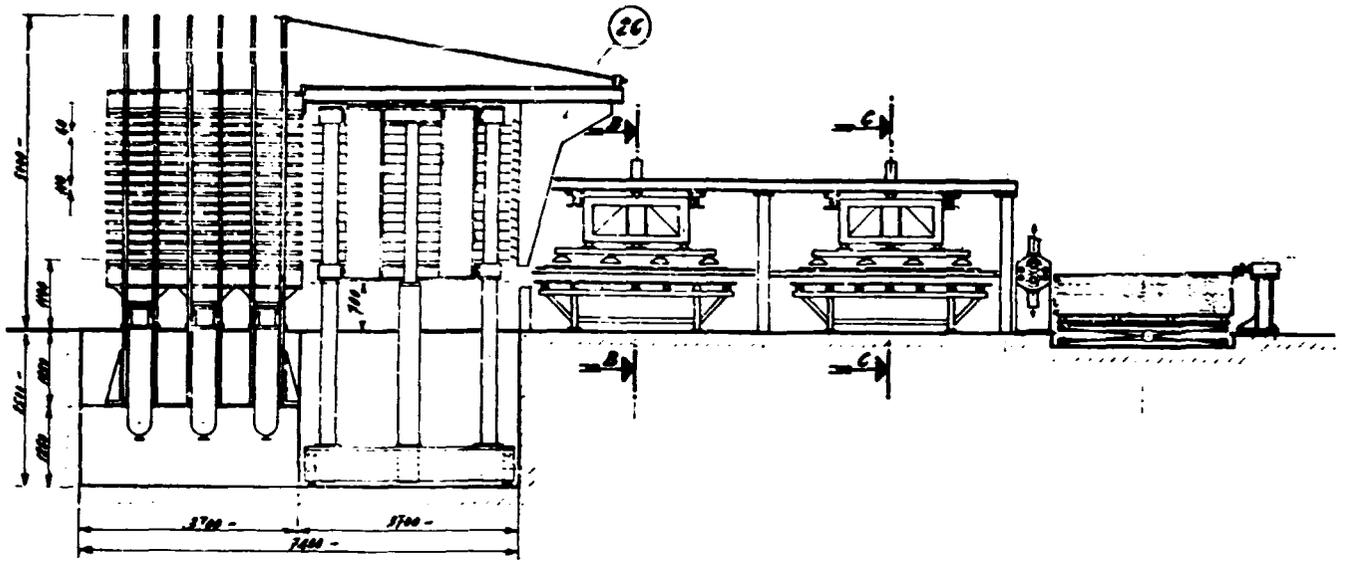
- Légende :*
- | | | | |
|-----|---|-----|--|
| 1.1 | Table à rouleaux moteurs | 3.1 | Table mobile, déligneuse transversale |
| 2 | Table élévatrice à rouleaux moteurs | 2 | Table mobile, déligneuse longitudinale |
| 3 | Pousseur pneumatique | 3 | Machine à broser |
| 4 | Brosseuse | 4 | Dispositif de refroidissement et culbuteur de panneaux |
| 5 | Table à roues motrices | 5 | Table à rouleaux libres, avec pousseur |
| 6 | Ventouses de prélèvement des panneaux | 6 | Table à rouleaux libres |
| 7 | Encolleuse | 7 | Poste de sélection à ventouses |
| 8 | Table à roues dentées motrices | 4.1 | Pupitre de commande |
| 9 | Chariot à papiers et placages | 2 | Tableau de contrôle électrique |
| 10 | Ventouses de prélèvement des papiers et placages | 3 | Boutons-poussoirs de commande des ventouses de prélèvement |
| 2.1 | Dispositif d'alimentation | 4 | Boutons-poussoirs de commande des ventouses de sélection |
| 2 | Presse à un étage | 5 | Pompes à vide |
| 3 | Commande des vérins hydrauliques | 6 | Groupe aspiration-filtrage |
| 4 | Dispositif de tension des feuilles d'acier inoxydable | | |
| 5 | Dispositif d'évacuation (à ventouses) | | |
| 6 | Table élévatrice pneumatique | | |



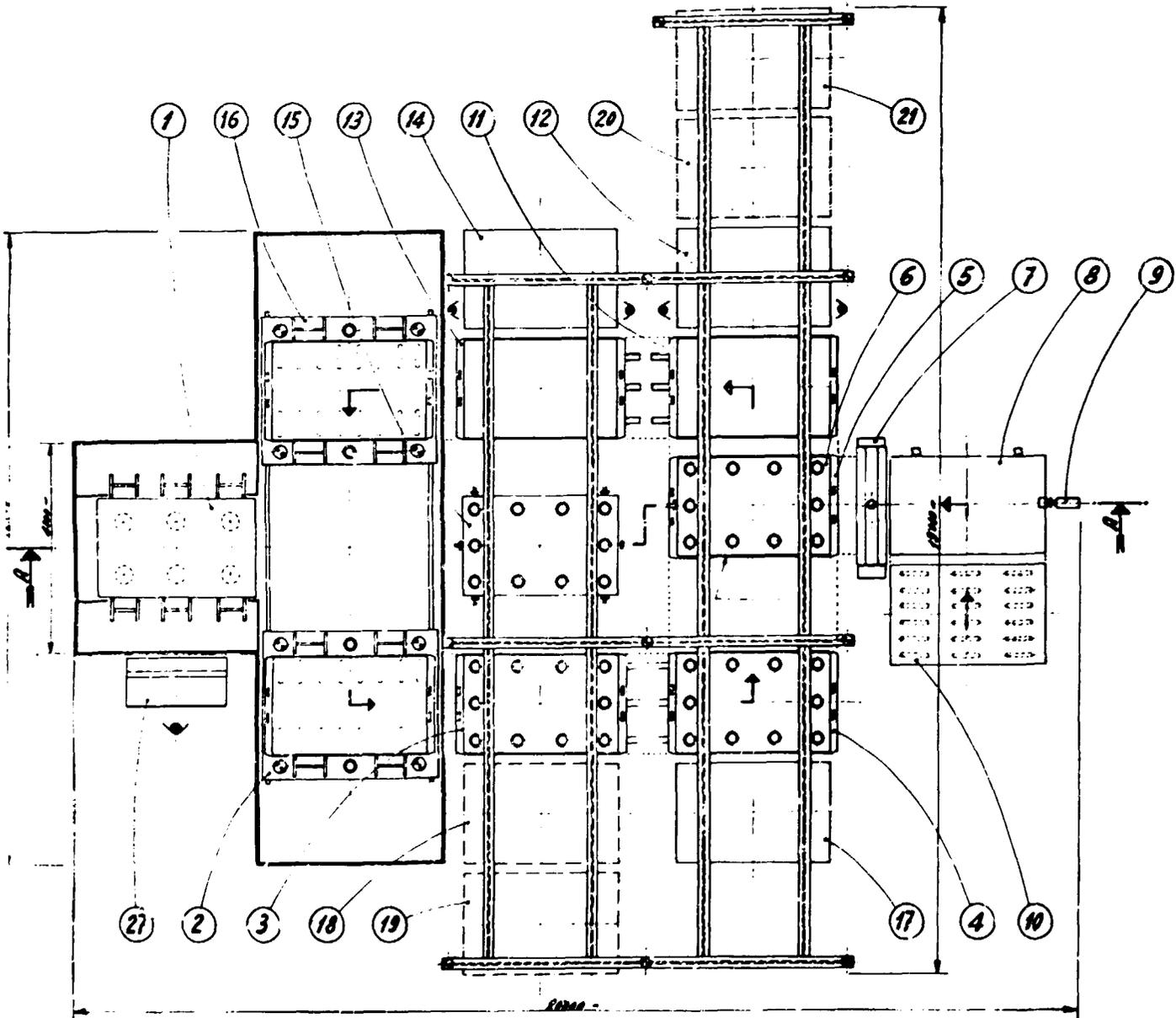


MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
1963 and ISO TEST CHART No. 21

Figure 4. Agencement pour la stratification par procédé chaud/froid

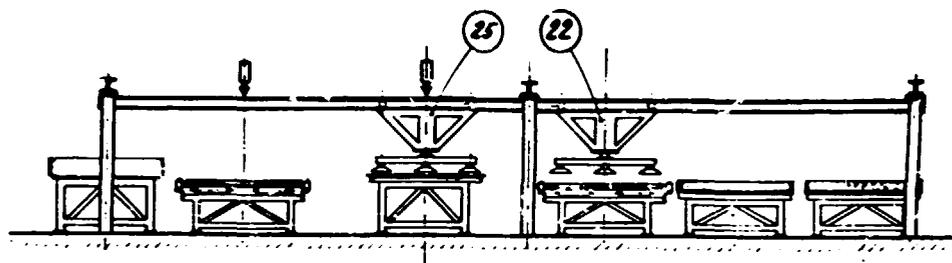


A. Coupe A-A

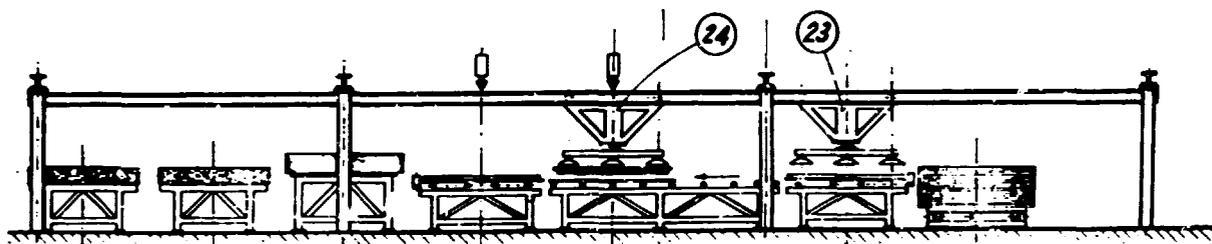


B. Vue d'en haut

Figure 4 (suite)



C. Coupe B-B



D. Coupe C-C

- Légende :*
- | | |
|--|--|
| 1 Presse, 3 150 × 1 930 mm | 16 Dispositif d'alimentation |
| 2 Dispositif d'évacuation | 17 Table d'empilage des panneaux finis |
| 3 Table de retrait de la feuille inox supérieure | 18 Prélèvement de la feuille inox supérieure |
| 4 Table d'enlèvement des panneaux finis | 19 Réserve de feuilles inox supérieures |
| 5 Table grillagée pour panneaux avant centrage | 20 Prélèvement de la feuille inox inférieure |
| 6 Dispositif de centrage des panneaux bruts | 21 Réserve de feuilles inox inférieures |
| 7 Brosseuse des panneaux bruts | 22 Ventouses de retrait de la feuille inox supérieure |
| 8 Dispositif d'alimentation en panneaux bruts | 23 Ventouses d'enlèvement des panneaux finis |
| 9 Pousseur de panneaux | 24 Ventouses de positionnement des panneaux bruts |
| 10 Transporteur à rouleaux moteurs | 25 Ventouses de positionnement de la feuille inox supérieure |
| 11 Table de première application | 26 Bras d'introduction et d'extraction des panneaux |
| 12 Table à papiers pour face inférieure | 27 Pupitre de commande |
| 13 Table de deuxième application | |
| 14 Table à papiers pour face supérieure | |
| 15 Table de centrage des feuilles inox supérieures | |

TABLEAU I. CARACTERISTIQUES DE DIVERS PAPIERS

Type de papier	Teneur en résine (%)	Volatilité ^a (%)	Fluidité ^b (%)	Type de résine
Protection, blanc	66-68	5-6,5	15-20	Mélamine
Protection, couleur	72-74	5-6,5	18-25	Mélamine
Décor	54-60	4-5,5	0,8-1,8	Mélamine
Barrière	56-59	4-5	2-3	Mélamine
Kraft, 150 g/m ²	38-40	7-10	7-10	Phénolique
Kraft, 60 g/m ²	31-34	5-7	2-2,5	Phénolique 250 g/m ²
Protection (verso)	60-62	5-7	10-15	Phénolique
Sous-jacent, blanc, 100 g/m ²	42-44	5-6	6-10	Phénolique 170-180 g/m ²

^a La volatilité est donnée par la relation $V = \frac{E-A}{E} \times 100$, où E = poids du papier imprégné et sec et A = poids après séchage (5 minutes à 160 °C).

^b La fluidité est le poids perdu pendant le pressage.

uniforme et pour cacher des défauts éventuels dans la structure superficielle du panneau, on applique deux papiers (très rarement trois) sur chaque face. Les papiers au contact du panneau sont du type sous-jacent, imprégnés avec résines phénoliques ou mélaminiques, tandis que les papiers apparents sont imprégnés avec résines mélaminiques. Le sandwich (papier décor, papier sous-jacent, panneaux de particules, papier sous-jacent, papier décor) est inséré entre deux feuilles d'acier inoxydable, recouvert d'un « coussin », puis introduit dans la presse par le dispositif de chargement (dans certaines installations, la feuille d'acier supérieure et son coussin sont fixés à l'intérieur de la presse).

Pendant le pressage, la température des faces est d'environ 140-150 °C; la pression est d'environ 18-22 kgf/cm²; le temps de pressage dépend du type des résines; la durée du cycle total varie de 8 à 20 minutes. Le tableau 1 donne quelques indications concernant les papiers.

La teneur en résines des papiers décor, utilisés sans papier de protection, dépend de leur poids à l'état brut; les papiers plus légers exigent une teneur plus élevée en résines pour assurer une bonne fluidité sur les surfaces soumises à pression.

Les cycles de pressage dépendent de divers facteurs : type et épaisseur du panneau, température des faces stratifiées, type de papier et de résine, pression, installation, etc. Les figures 5 et 6 donnent des courbes température/temps pour le procédé chaud/froid.

En ce qui concerne le procédé chaud/froid, il faut encore mentionner la méthode « tandem », qui consiste à utiliser deux presses. Dans la première, on effectue le chauffage et la cuisson en condition normale; dans la deuxième, on effectue le refroidissement. Cette méthode permet d'obtenir des cycles globaux d'environ 6 minutes, avec une économie d'environ 30 % dans la consommation d'énergie.

Stratification en presse à un étage (procédé rapide chaud/chaud avec transporteur)

Le cycle de stratification en presse à un seul étage, avec des résines rapides, est très bref : une minute ou même moins. La durée du cycle dépend de la température dans la surface décor, de la vitesse de transmission de la chaleur (ce problème se pose dans toutes les installations), du type de résine, du temps que le papier décor reste en contact avec les surfaces chaudes des feuilles d'acier avant que la pression ne soit exercée, de la vitesse de fermeture de la presse et du temps nécessaire pour atteindre la pression maximale. Pour ce mode de stratification, on utilise des papiers imprégnés avec des résines mélaminiques modifiées ou avec des résines diallyphaliques (c'est rarement le cas aujourd'hui).

On peut ainsi stratifier des panneaux de particules ayant une densité inférieure à 0,65, en raison du temps très bref pendant lequel le panneau est soumis à des pressions et températures élevées. Pour la stratification avec des résines mélaminiques, les temps de cuisson varient entre 30 secondes à 180 °C et 90 secondes à 145 °C, avec des pressions de 18-22 kgf/cm² (figure 7).

Quand le chargement de la presse est terminé, il ne faut pas laisser le sandwich au contact de la surface chaude des plateaux pendant plus de 8 secondes avant d'appliquer la pression; sinon, il y aurait une cuisson prématurée, déséquilibrée ou partielle des papiers, d'où résulteraient inévitablement des défauts tels que porosité, rayures, etc. Certains experts estiment que le temps de présence dans la presse sans pression ne devrait pas dépasser 20 % du temps total de cuisson. Cette opinion est certainement discutable, car des températures trop élevées peuvent provoquer un jaunissement ou autre défaut de coloration des surfaces même si le temps de présence dans la presse ne dépasse pas 60 secondes. Une fois la cuisson terminée et la presse ouverte, le panneau stratifié doit être déchargé rapidement, pour éviter une surcuisson, puis inséré dans un dispositif spécial de refroidissement jusqu'à une température inférieure à 60 °C. On procède ensuite à un contrôle visuel et à une sélection en vue d'un stockage approprié des panneaux.

Le procédé de stratification avec transporteur exige des installations spéciales, schématisées dans la figure 3. Le sandwich est composé directement sur la bande transporteuse, qui est ensuite introduite dans la presse, où le sandwich est déposé sur la surface chaude. Ce faisant, l'avant du sandwich reste plus longtemps que l'arrière en contact avec la surface chaude des plateaux; la différence de temps de contact est d'environ 4 secondes, mais elle dépend évidemment de la longueur du sandwich.

Une variante de ce procédé est illustrée par la figure 8. L'innovation réside dans le fait que le sandwich, une fois introduit dans la presse, n'est pas déposé sur un plateau avant le retrait de la bande de transport : il reste suspendu sur les bords entre les deux plateaux chauffants; la presse se ferme et le sandwich descend au contact du plateau chauffant, ce faisant, on évite la différence dans les temps de contact. Cette variante, introduite récemment sur le marché, permet d'augmenter l'efficacité d'environ 30-40 %; elle a suscité un très vif intérêt parmi les fabricants de panneaux stratifiés.

Figure 5. Courbes température/temps pour le procédé chaud/froid

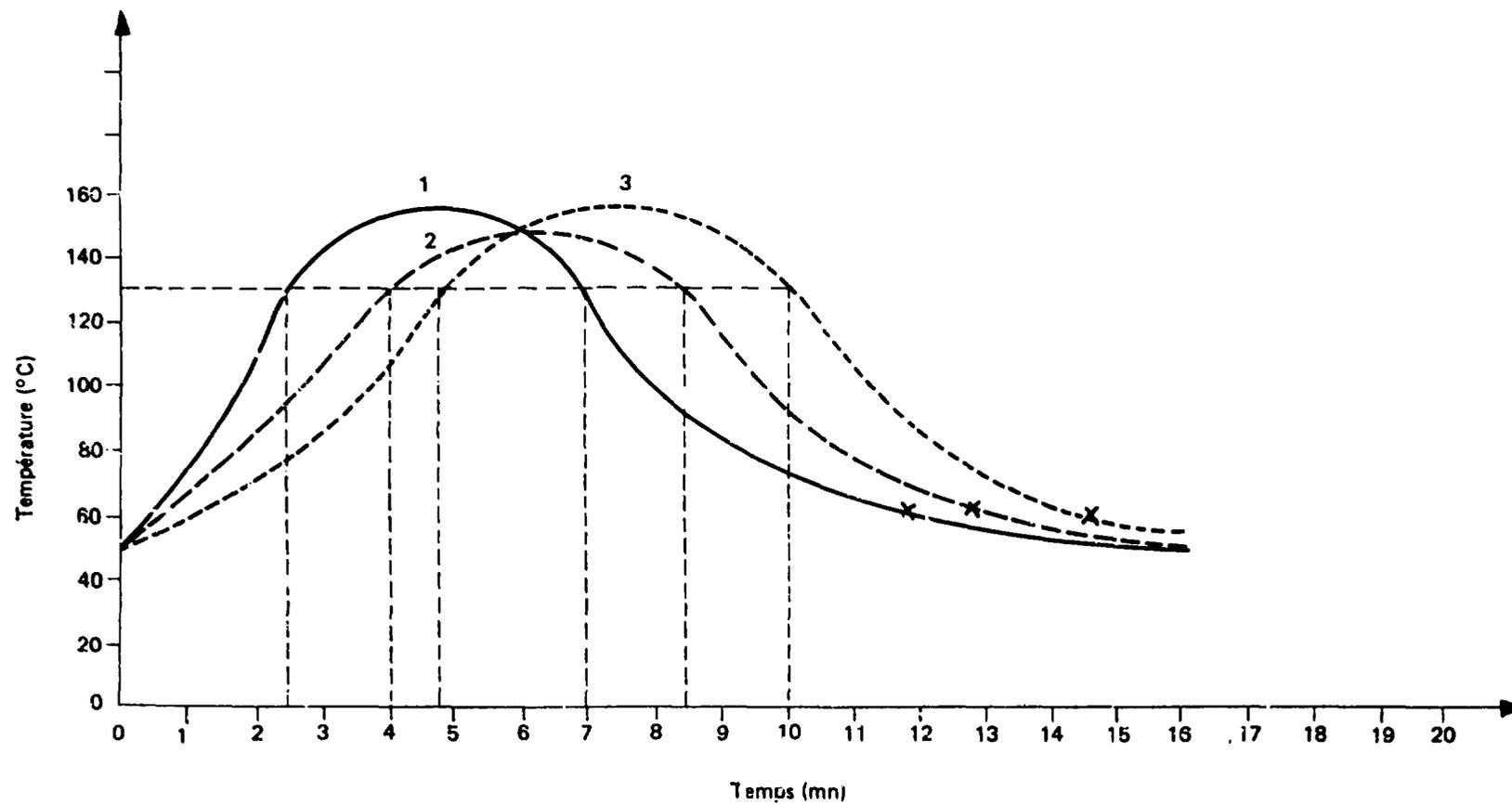
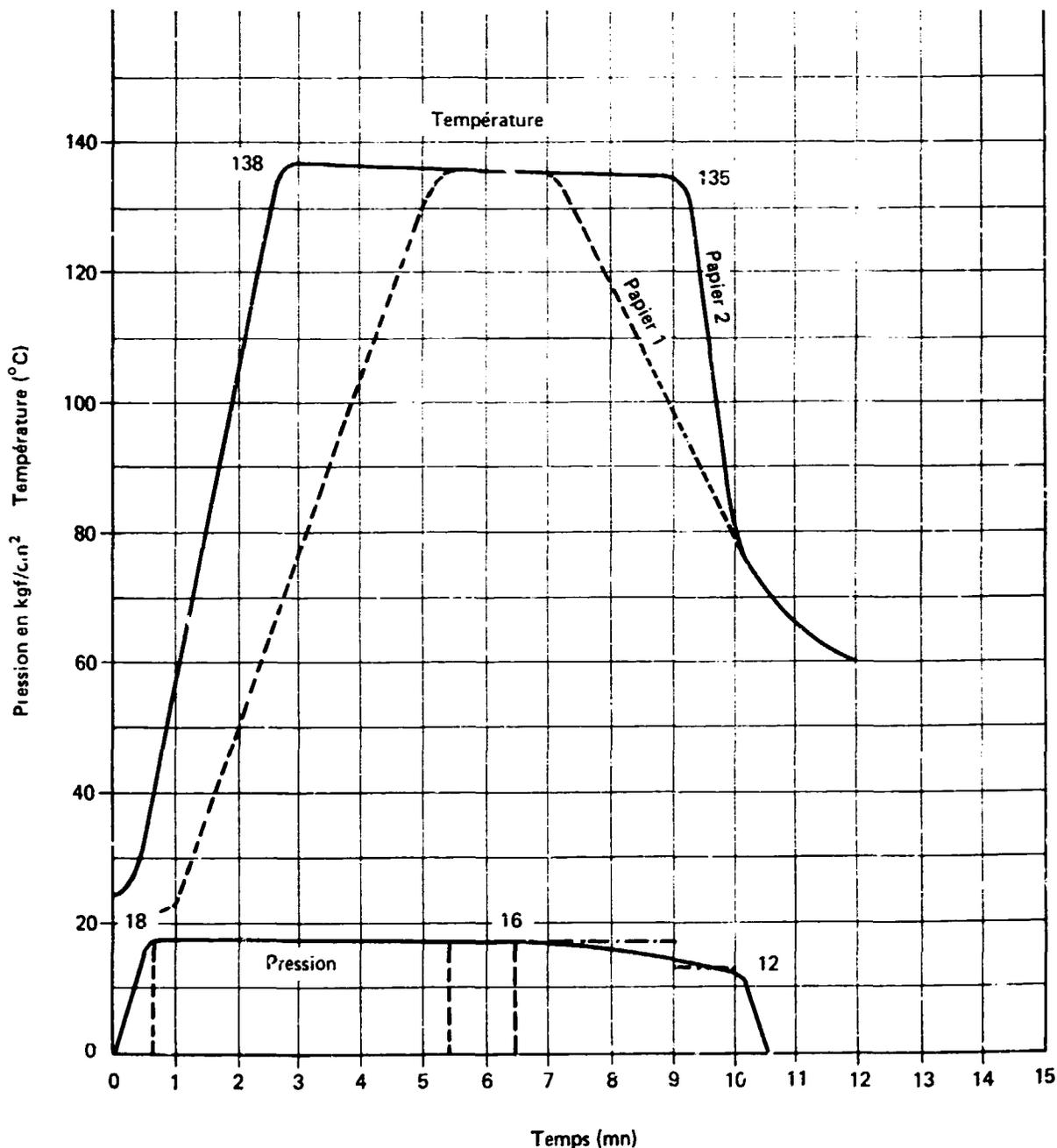


Figure 6. Diagrammes température et pression/temps pour le procédé chaud/froid, avec deux papiers différents



Presse ultrarapide à un seul étage, avec chargement par « chute »

Au cours des dernières années, de grands progrès ont été accomplis dans la réalisation de presses horizontales (les presses verticales n'ayant pas donné les résultats espérés). On est parvenu à des temps de fermeture se situant entre 1,5 et 2 secondes pour atteindre la moitié de la pression finale, avec des temps morts de l'ordre de 16 secondes. Dans ces conditions et avec chargement par « chute », on peut utiliser des papiers ayant un temps de bakélisation d'environ 18 secondes et le cycle total ne dépasse pas 34 secondes. Actuellement, ces presses peuvent produire environ 70 panneaux à l'heure, en fonction des papiers et des résines utilisées. Les résines sont modifiées et accélérées par divers adjuvants; la figure 9 donne une idée de leur action.

Figure 7. Diagrammes température et pression/temps

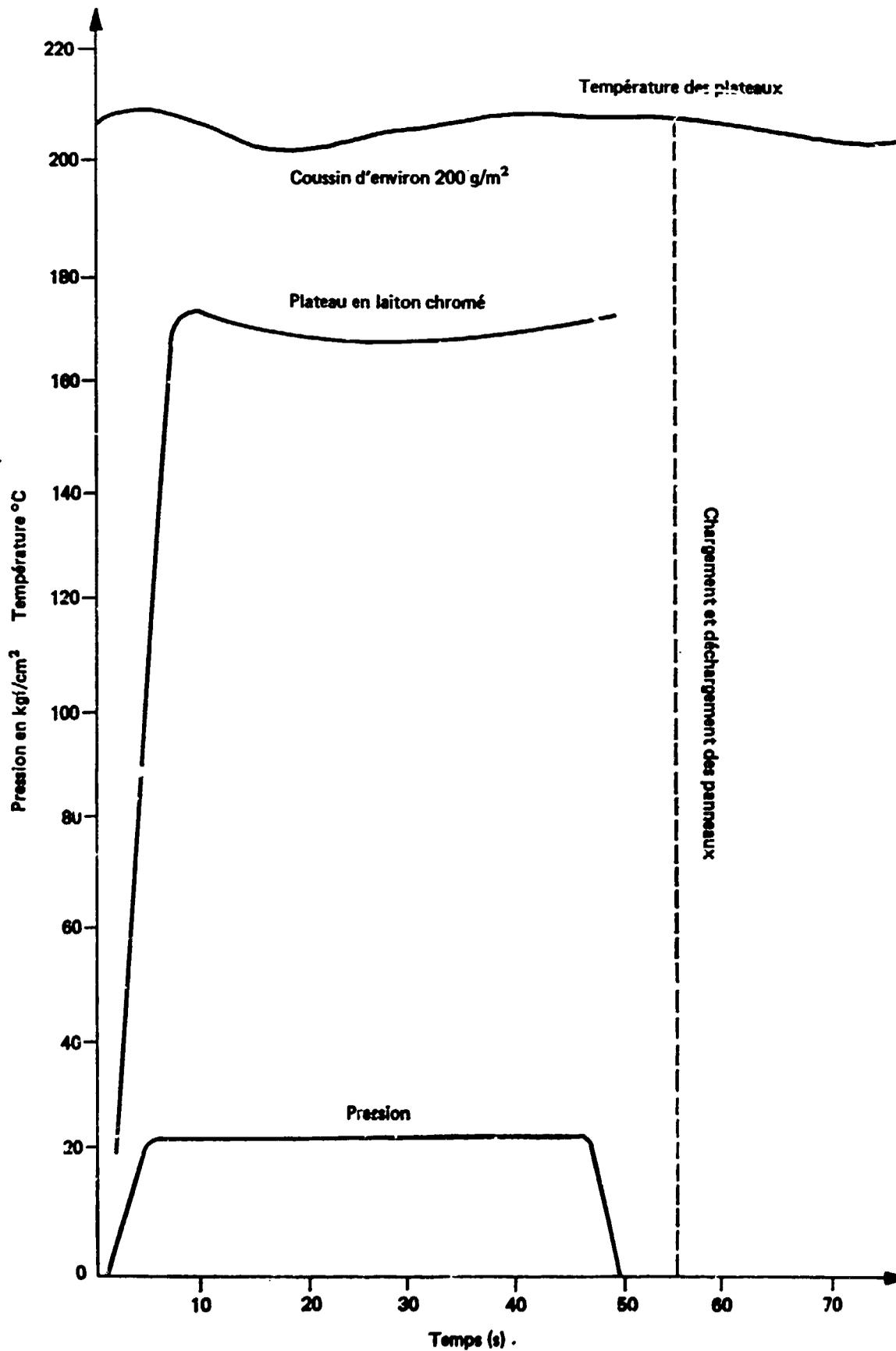
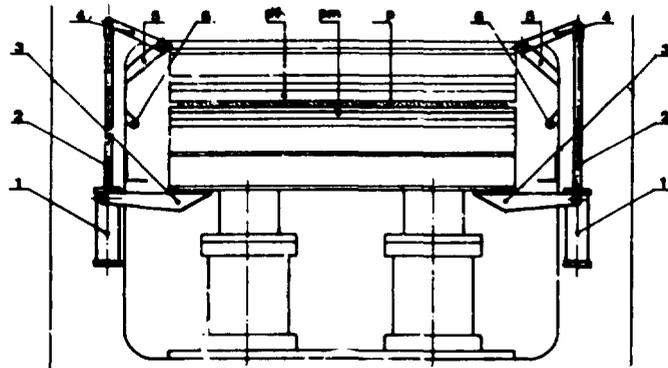
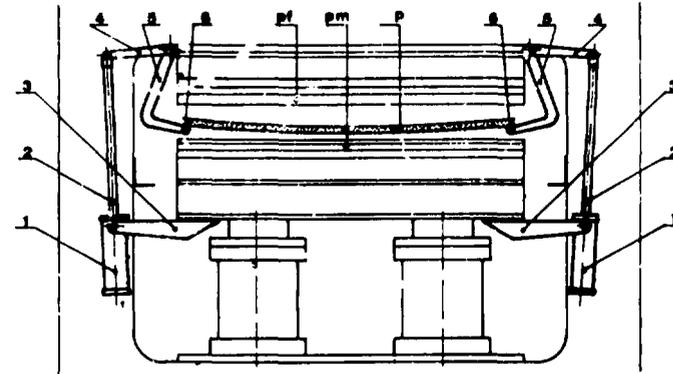


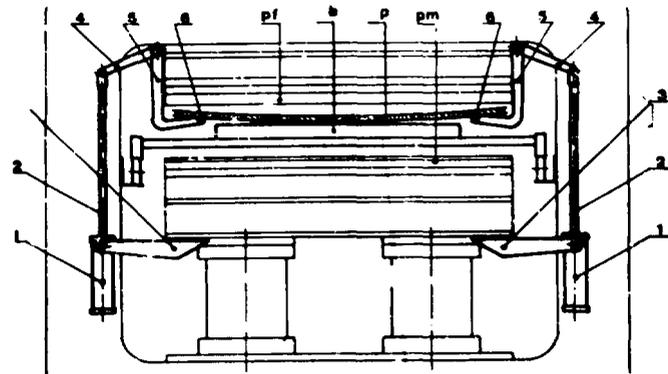
Figure 8. Chargement de la presse par transporteur à bras articulé



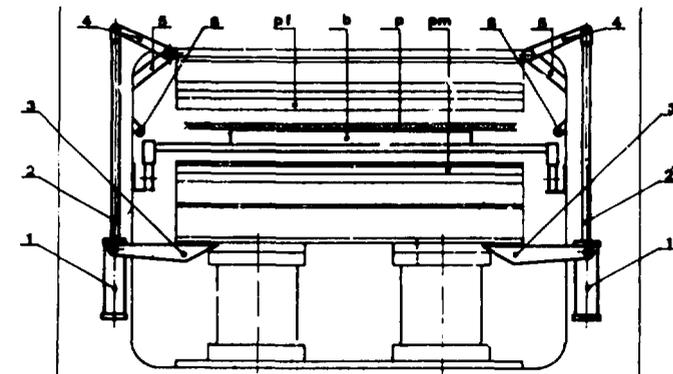
A. Phase 1



B. Phase 3



C. Phase 2

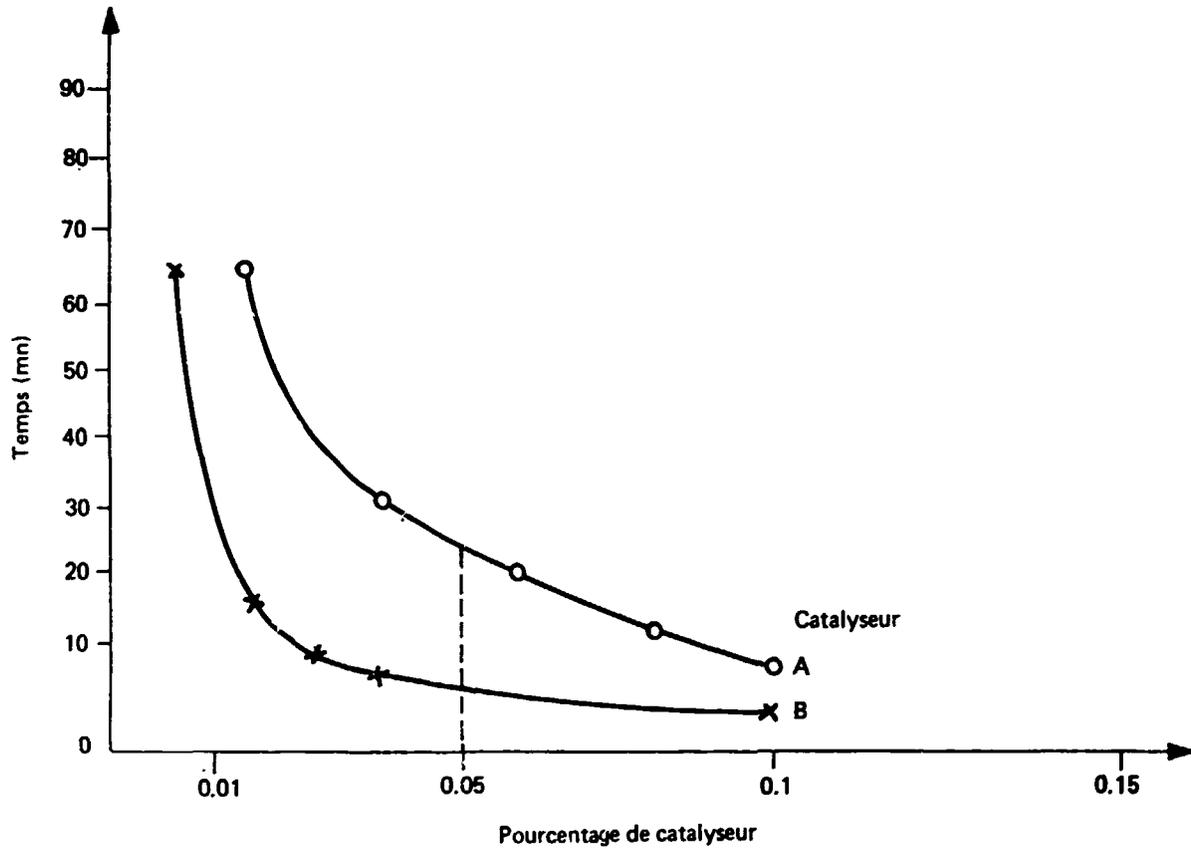


D. Phase 4

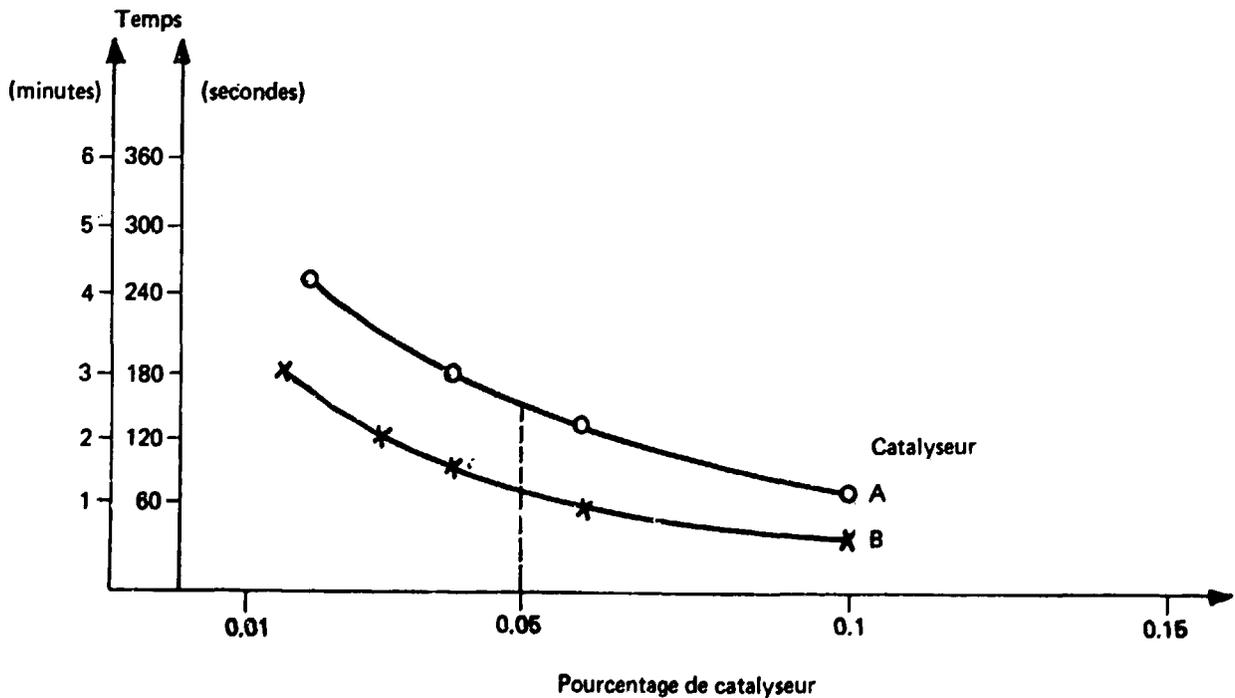
Légende : 1 Cylindre pneumatique
 2 Piston
 3 Support du cylindre
 4 Élément supérieur du bras
 5 Élément inférieur du bras

6 Roulette soutenant le panneau
 pf Plateau supérieur
 pm Plateau inférieur
 p Panneau
 b Dispositif de chargement du panneau

Figure 3. Temps de sédimentation en fonction du catalyseur et de la température

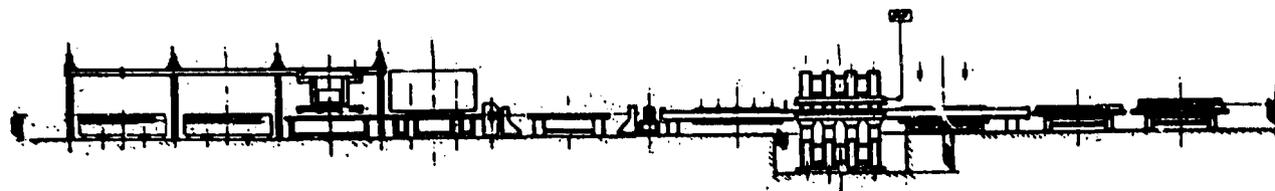


A. Temps de sédimentation à 100 °C

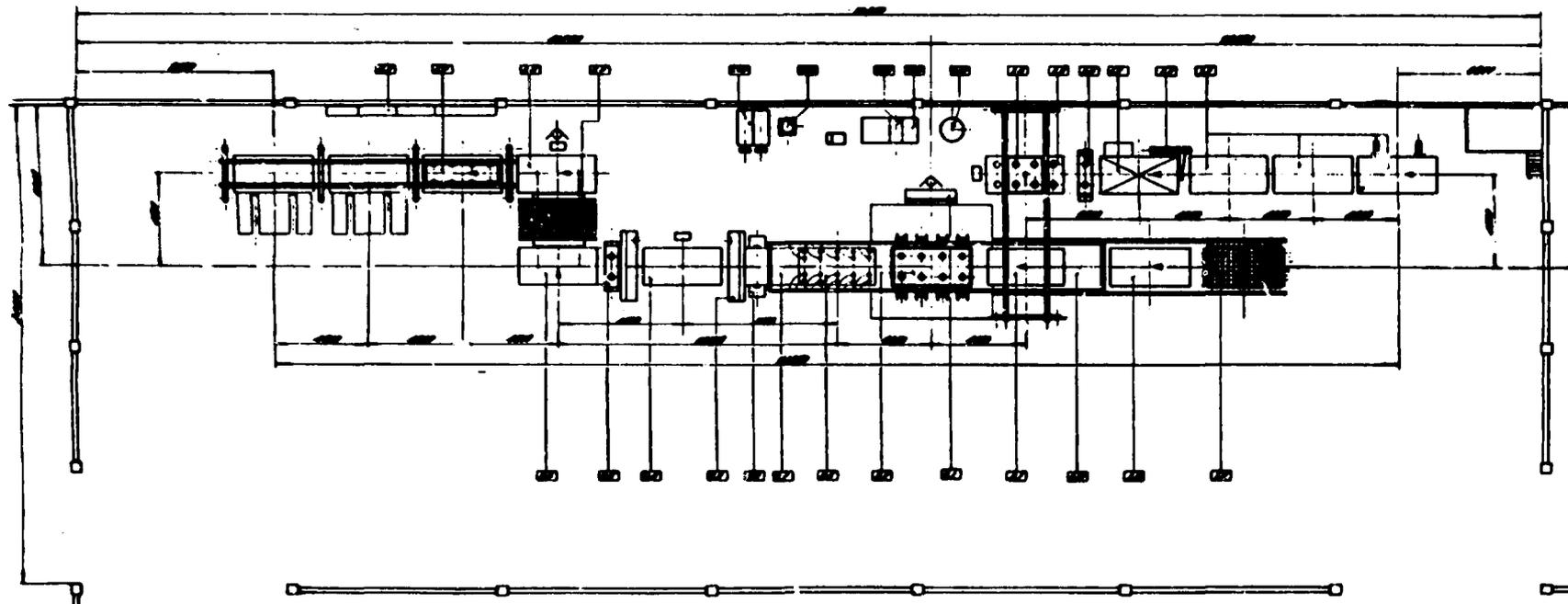


B. Temps de sédimentation à 140 °C

Figure 10. Presse ultrarapide à un seul étage, à chargement par chute



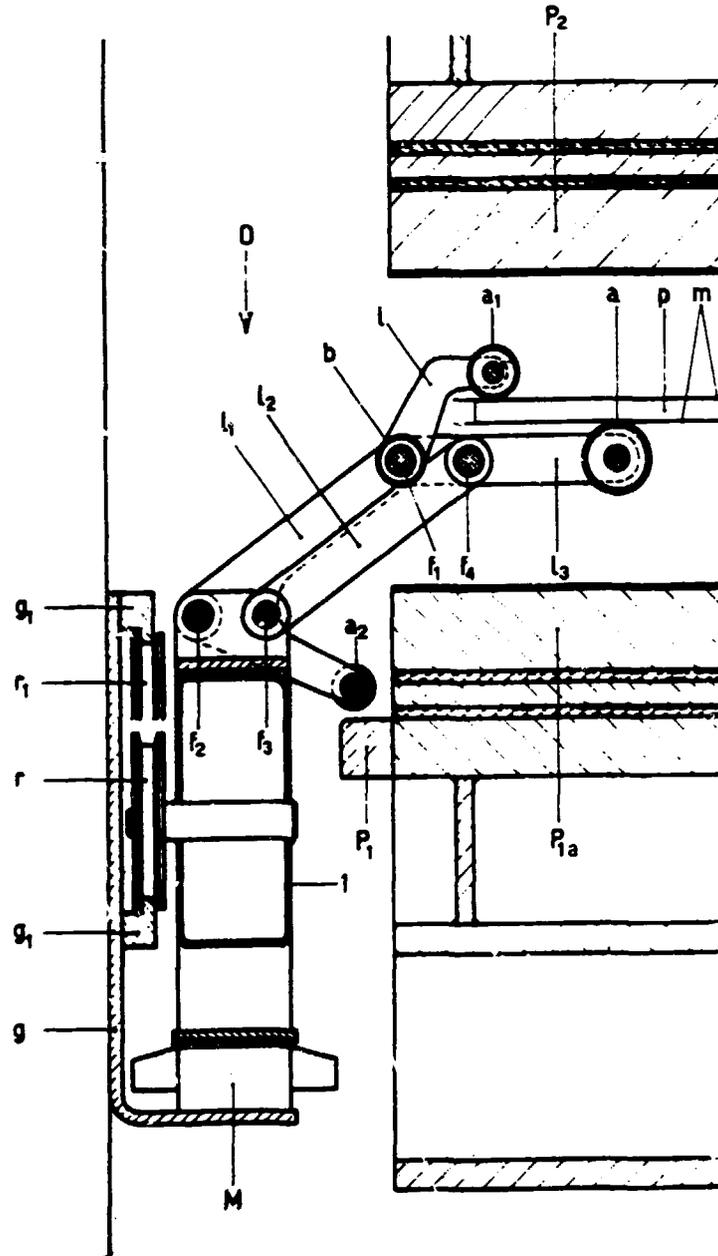
A. Vue de côté



B. Vue d'en haut

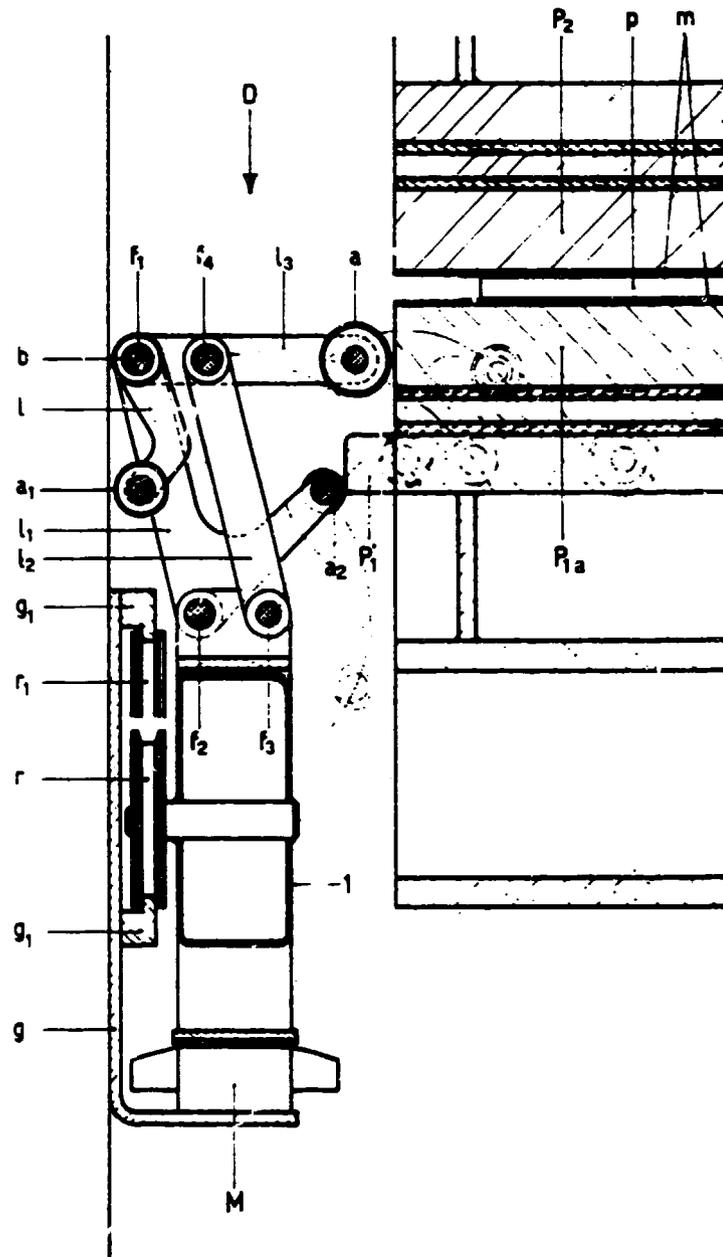
- | | | |
|--|--|---|
| <p>Légende :</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1 Table à rouleaux moteurs 2 Table élévatrice à rouleaux moteurs 3 Pousseur pneumatique 4 Brosseuse des panneaux bruts 5 Table de centrage, à rouleaux moteurs 6 Ventouses de chargement des panneaux 7 Chariot à roues pivotantes pour papiers 8 Ventouses d'application transversale des papiers 9 Ventouses d'application longitudinale des papiers | <ul style="list-style-type: none"> 10 Table élévatrice micrométrique 2.1 Dispositif d'alimentation de la presse 2.1.1 Table de composition 2.2 Presse à un seul étage 2.3.1 Accumulateur basse pression 3.2 Pompe centrifuge 3.3 Accumulateur haute pression 3.4 Pompe hydraulique à pistons 3.5 Réservoir du système hydraulique | <ul style="list-style-type: none"> 2.4 Dispositif de tension des feuilles inox 2.5 Ventouses d'extraction des panneaux 3.1 Table à rouleaux libres, avec pousseur à chaîne 2 Déligneuse longitudinale 3 Déligneuse transversale à têtes mobiles 4 Table de délignage à rouleaux moteurs 5 Brosseuse des panneaux finis 6 Table à rouleaux moteurs, après brossage |
|--|--|---|

Figure 11. Presse ultrarapide à un seul étage, à chargement par chute : chargement



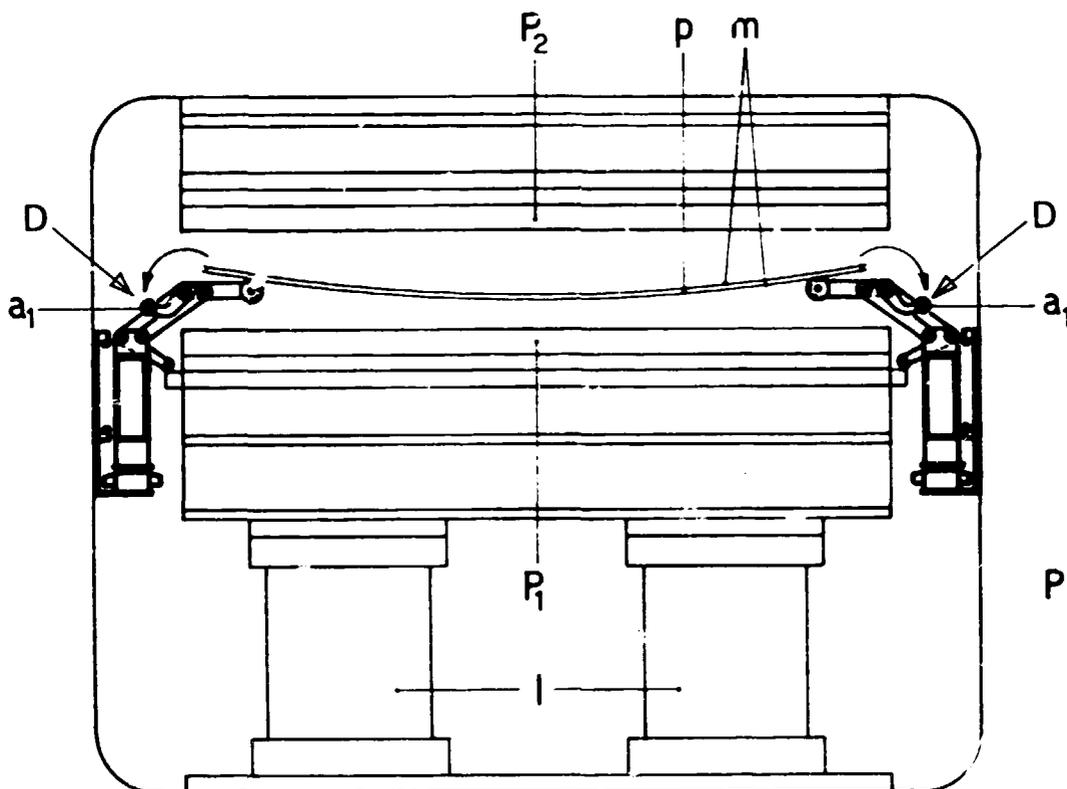
- | | | | | |
|------------------|-------|-------------------------------|----------|--------------------------|
| <i>Légende :</i> | a | Roulette soutenant le panneau | l_1 | Bras |
| | a_1 | Roulette de pression | l_2 | Bras |
| | a_2 | Roulement à billes | l_3 | Paire de bras |
| | b | Vérin rotatif | m | Papiers mélaminés |
| | f_1 | Articulation de bras | p | Panneau |
| | f_2 | Articulation de bras | \int | Groupe de bras articulés |
| | f_3 | Articulation de bras | M | Moteur linéaire |
| | f_4 | Articulation de bras | P_1 | Repère réglable |
| | g | Guide | P_{1a} | Plateau inférieur |
| | g_1 | Guides du chariot | P_2 | Plateau supérieur |
| | 1 | Bras du vérin rotatif | | |

Figure 12. Presse ultrarapide à un seul étage, à chargement par cisures : pressage



- | | | | | |
|------------------|----------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Légende : | a | Roulette soutenant le panneau | l ₁ | Bras |
| | a ₁ | Roulette de pression | l ₂ | Bras |
| | a ₂ | Roulement à billes | l ₃ | Paire de bras |
| | b | Vérin rotatif | m | Papiers mélaminés |
| | f ₁ | Articulation de bras | p | Panneau |
| | f ₂ | Articulation de bras | D | Groupe de bras articulés |
| | f ₃ | Articulation de bras | M | Moteur linéaire |
| | f ₄ | Articulation de bras | P ₁ | Repère réglable |
| | g | Guide | P _{1a} | Plateau inférieur |
| | g ₁ | Guides du chariot | P ₂ | Plateau supérieur |
| | l | Bras du vérin rotatif | | |

Figure 13. Presse ultrarapide à un seul étage, à chargement par chute: phase de chargement



Légende : a₁ Roulette de pression
 m Papier mélaminés
 p Panneaux
 D Groupe de bras articulés
 I Vérins hydrauliques
 P Presse
 P₁ Plateau inférieur
 P₂ Plateau supérieur

Le sandwich est composé et introduit dans la presse à l'aide d'un chariot spécial, pourvu de bras qui s'ouvrent et libèrent le sandwich pendant la fermeture de la presse, ce qui réduit pratiquement à zéro le temps de contact des papiers avec les plateaux chauffants de la presse. On obtient ainsi une homogénéité absolue dans la réaction des résines, l'effet de la chaleur étant immédiat et uniforme.

Les figures 10 à 14 donnent une idée de cette presse et de son fonctionnement; les papiers utilisés dans ce procédé sont différents des papiers utilisés dans le procédé chaud/froid. Leur teneur en résines est donnée dans la figure 15. Les caractéristiques des panneaux doivent satisfaire à la norme DIN 68765.

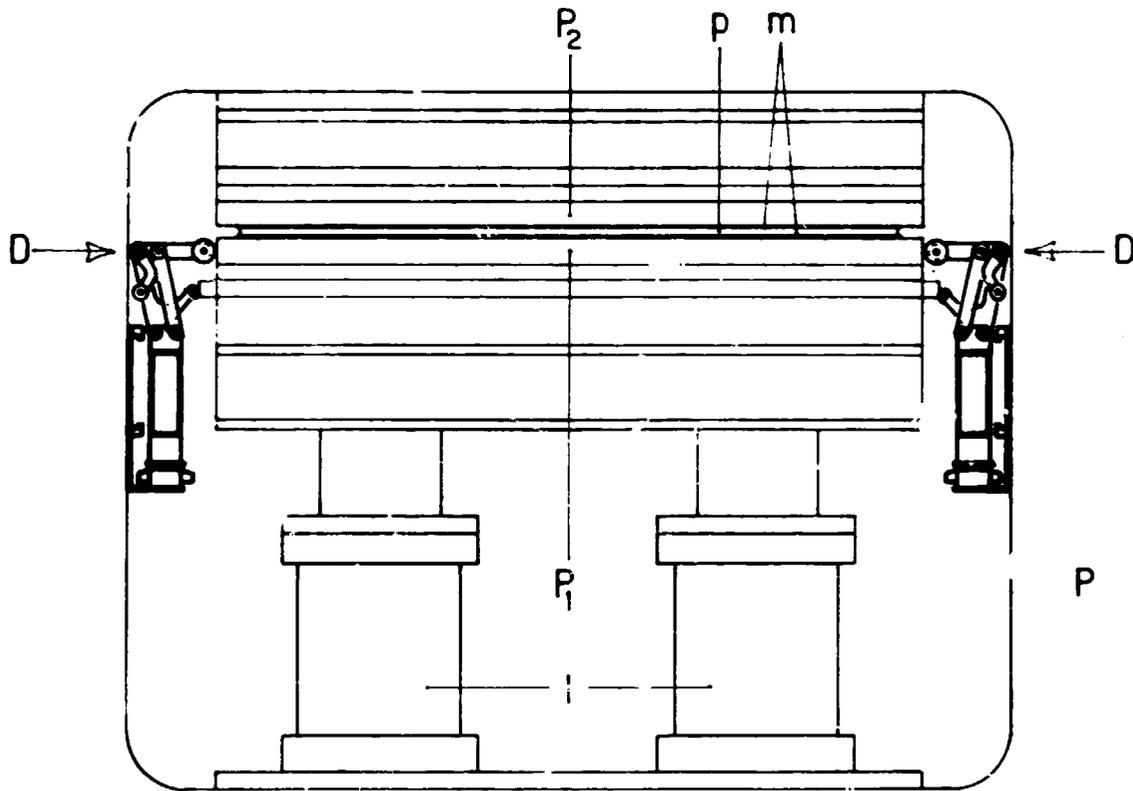
Comparaison des procédés chaud/chaud et chaud/froid

Avantages du procédé chaud/chaud :

- a) Possibilité de stratifier des panneaux à faible poids spécifique, sans perte d'épaisseur (toujours pour panneaux climatisés);
- b) Consommation d'énergie très inférieure (environ 8 fois);
- c) Investissement initial inférieur;
- d) Entretien plus facile;
- e) Main-d'œuvre plus réduite.

L'augmentation de la productivité dépendra de l'installation.

Figure 14. Presse ultrarapide à un seul étage, à chargement par chute : phase de pressage



Légende : m Papiers mélaminés P Presse
 p Panneau P₁ Plateau inférieur
 D Groupe de bras articulés P₂ Plateau supérieur
 I Vérins hydrauliques

Inconvénients du système chaud/chaud :

- a) Impossibilité d'obtenir des surfaces brillantes (dans l'état actuel de la technologie);
- b) Nécessité d'un contrôle très strict des opérations;
- c) Besoin d'installations sophistiquées, pour éviter un long temps de contact des papiers et des surfaces chaudes;
- d) Caractéristiques inférieures des surfaces stratifiées (résistance moindre à l'abrasion et aux taches).

Avantages du procédé chaud/froid :

- a) Possibilité d'obtenir l'apparence voulue (satinée ou brillante);
- b) Meilleures caractéristiques mécaniques des surfaces (résistance à l'abrasion, au choc, aux taches);
- c) Procédé plus simple et plus sûr.

Inconvénients du procédé chaud/froid :

- a) Investissement initial supérieur;
- b) Consommation d'énergie plus importante;
- c) Main-d'œuvre plus importante.

Le tableau 2 permet de comparer certains éléments des procédés chaud/froid et chaud/chaud.

Figure 15. Teneur en résines des papiers utilisés dans le procédé chaud/froid

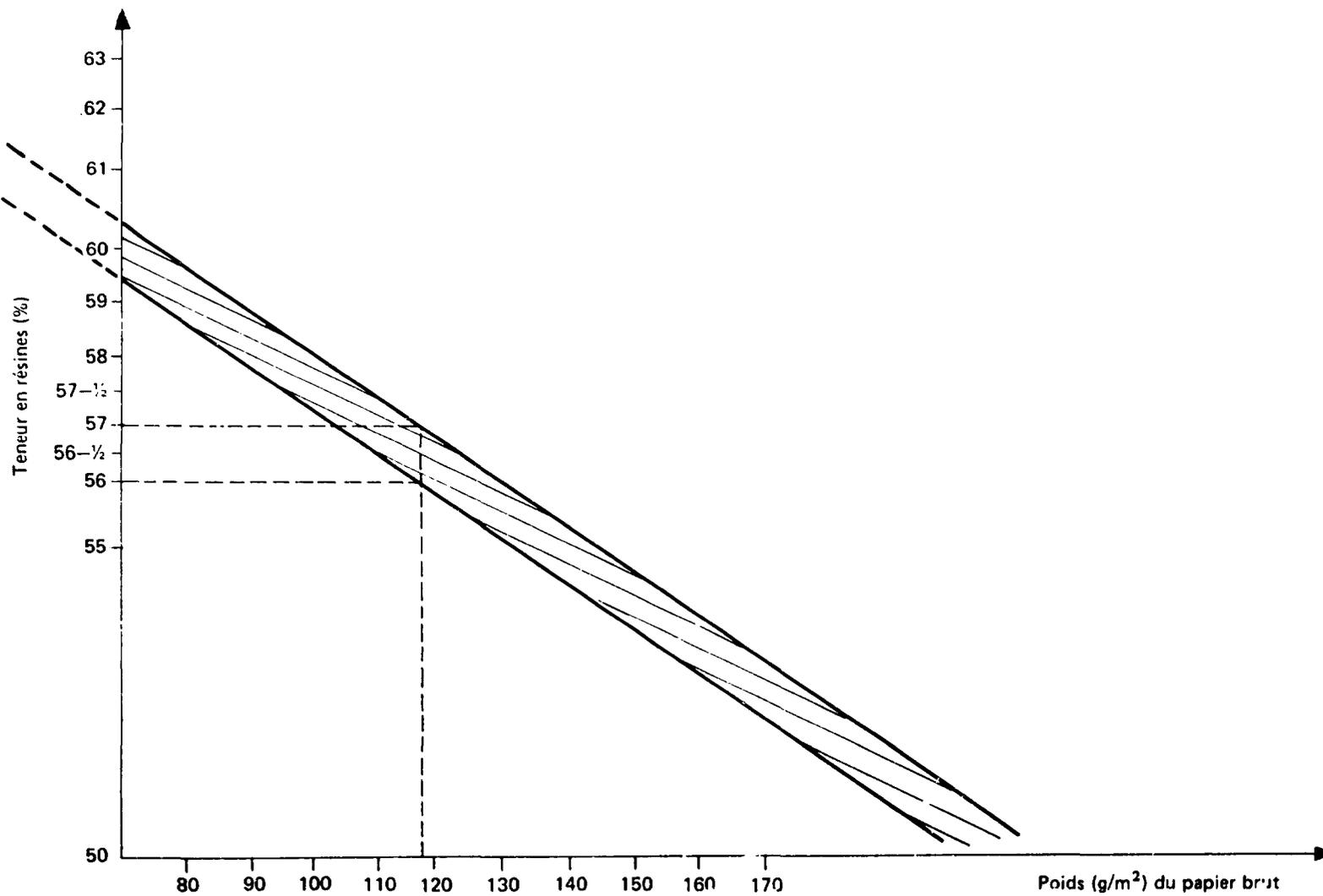


TABLEAU 2. COMPARAISON DES DEUX PROCÉDES

	<i>Chaud/froid</i>	<i>Chaud/chaud</i>
Type de presse	A plusieurs étages	Horizontale, à un seul étage
Investissement	Elevé	Faible
Production horaire d'une presse	Elevée, 20 étages — 5 cycles = 100 panneaux	Faible : 70 panneaux
Consommation d'énergie	Elevée	Faible
Sollicitation mécanique pendant le travail	Faible	Elevée
Surface nécessaire	Importante	Petite
Refroidissement dans la presse	Nécessaire	Inutile
Refroidissement hors presse	Inutile	Nécessaire (fonction des papiers et des résines)
Coût des tôles et coussins	Elevé	Faible
Qualité des produits	Très bonne (tous types de surfaces)	Bonne (surface mate seulement)
Coût des résines	Faible	Elevé
Stabilité des papiers imprégnés	Longue durée	Brève durée
Poids spécifique des panneaux	0,65-0,75	< 0,65
Aplatissement des panneaux	Environ 5 %	Presque nul
Sécurité	Très bonne	Moins bonne (pour le moment)

Stratification simultanée

Ce procédé de stratification n'est pas économique pour deux raisons : investissement initial élevé, difficultés de production. Des recherches sont en cours pour l'améliorer.

Stratification à l'aide de papiers « bouche-pore »

L'application de papiers imprégnés de résine uréique permet d'obtenir, sans polissage, des surfaces prêtes pour l'impression et le vernissage. On a le choix entre des papiers autocollants et des papiers à appliquer sur un panneau encollé normalement avec des résines uréiques.

Autres systèmes d'application

Outre les procédés classiques décrits plus haut, on a mis au point récemment des procédés quelque peu différents quant aux matériaux (papiers et résines), aux méthodes d'imprégnation des papiers et même aux méthodes d'application. Le principe de ces procédés nouveaux réside dans l'encollage des papiers par voie « humide » ou, plus récemment, par voie « sèche ». Ce dernier procédé ressemble beaucoup au procédé classique de stratification, mais le cycle total est plus court (environ 2 secondes).

Papiers d'encollage

On peut citer les types suivants :

a) Papiers imprégnés se prêtant à un vernissage ultérieur; leur poids est de 80-125 g/m²; ils peuvent être utilisés dans les presses à placage (figure 3);

b) Papiers imprégnés déia vernis: leur poids est de 80-150 g/m²; ils peuvent être utilisés dans les presses à collage, dans les presses ultrarapides ou dans les presses dites universelles;

c) Papiers semi-finis, qui peuvent être utilisés immédiatement après encollage ou être vernis ultérieurement; leur poids est de 80-145 g/m²;

d) Papiers imprégnés finis, qui peuvent être utilisés à la place de placages, aussi bien sur les faces que sur les chants (figure 18);

e) Papiers imprégnés finis et encollés; l'adhésif est appliqué à l'état de fusion sur le verso du papier, ou bien un adhésif du type mastic est appliqué au verso du papier sous forme de microcristaux pendant le processus d'imprégnation.

Les papiers très légers (30-45 g/m²) méritent une mention spéciale. Ils sont imprégnés avec des résines uréiques modifiées avec acrylique. Ils sont appliqués à l'aide de presses ultrarapides, de calandres ou de presses universelles. Le panneau, encollé normalement et recouvert sur une ou deux faces avec le papier, est transporté à la presse par un transporteur à bande; la bande peut elle-même être pourvue d'une matrice en matière synthétique pour simuler les pores du bois sur la surface du papier imprégné. Ce type de papier peut être utilisé sur les panneaux de particules ou les panneaux de fibres. La quantité de colle (fonction du type de support) est d'environ 50-80 g/m² en solution. Les temps de pressage dépendent du catalyseur et du bois; ils varient de 25 secondes à 100 °C à 10 secondes à 160 °C.

Compte tenu de la légèreté de ces papiers, il est préférable d'utiliser des matrices structurées pour le pressage, afin de cacher les défauts éventuels à la surface du bois. De toute façon, cette surface doit être polie, régulière et uniforme, sans aucune des traces laissées parfois à la suite du polissage.

Un nouveau procédé d'application, emprunté à l'industrie des matières thermoplastiques, est le procédé « transfert » (figure 16), qui est réalisé normalement sur une seule face du panneau. Une ou plusieurs couches (quelques microns d'épaisseur) de résines acryliques ou acryliques modifiées sont étendues à la surface du film, généralement en polyester. Ce film, en bobine, est appliqué à la surface du panneau de particules qu'un transporteur à bande fait avancer vers les rouleaux de la calandre. Les rouleaux peuvent avoir une température comprise entre 160 et 200 °C. Le rouleau supérieur (qui exerce la pression) est généralement en caoutchouc au silicium. La surface du panneau doit être parfaite. Sous l'effet de la chaleur et de la pression, la couche de résines adhère à la surface du panneau; le film support peut être enlevé ou être conservé comme protection contre les éraflures, etc.; il sera arraché au cours d'opérations ultérieures ou par l'utilisateur lui-même. Malheureusement, les caractéristiques physiques et mécaniques ne sont pas très bonnes et le prix du mètre carré est encore trop élevé.

Chaînes de stratification

L'un des systèmes, dit « rapide », est schématisé dans la figure 17. La chaîne comprend une enrouleuse et une presse, avec transporteur à bande, qui effectue le pressage du panneau et des papiers. Les papiers sont généralement encollés avec des résines uréiques ou vinyliques; la pression est de 10 kgf/cm² et la température se situe entre 110 et 140 °C; le temps de pressage, qui est fonction de la colle, est d'environ 8 secondes. On ne peut pas utiliser les papiers imprégnés de résine mélaminique, que l'on emploie dans le système chaud/froid.

En modifiant la puissance de la presse et en installant une station pour papiers mélaminiques et calandres, on obtient une « chaîne universelle » qui permet d'utiliser tous les types de papier.

Le système à calandre, récemment mis au point, a pour objet de remplacer les revêtements en CPV par des papiers légers. En effet, le CPV a été contesté du point de vue sanitaire et à cause de ses caractéristiques physiques et mécaniques insuffisantes. La figure 18 montre le principe de fonctionnement de ce nouveau système. Cependant, les panneaux ainsi stratifiés ne répondent pas aux normes en vigueur. Il est certain que l'introduction de calandres dans les chaînes de pressage permettra d'améliorer les produits finis. La vitesse d'application varie de 15 à 40 m/mn; la température des rouleaux est d'environ 210 °C; le temps de contact dépend de la vitesse (pour une zone de contact de 5 mm, il est de quelques dixièmes de seconde).

La figure 16 illustre le principe du procédé « transfert ». Ce système fait encore l'objet de mises au point, notamment quant à l'épaisseur des couches appliquées sur le support et aux propriétés adhésives des papiers sur les panneaux de particules.

Figure 18. Application d'un film par « transfert »

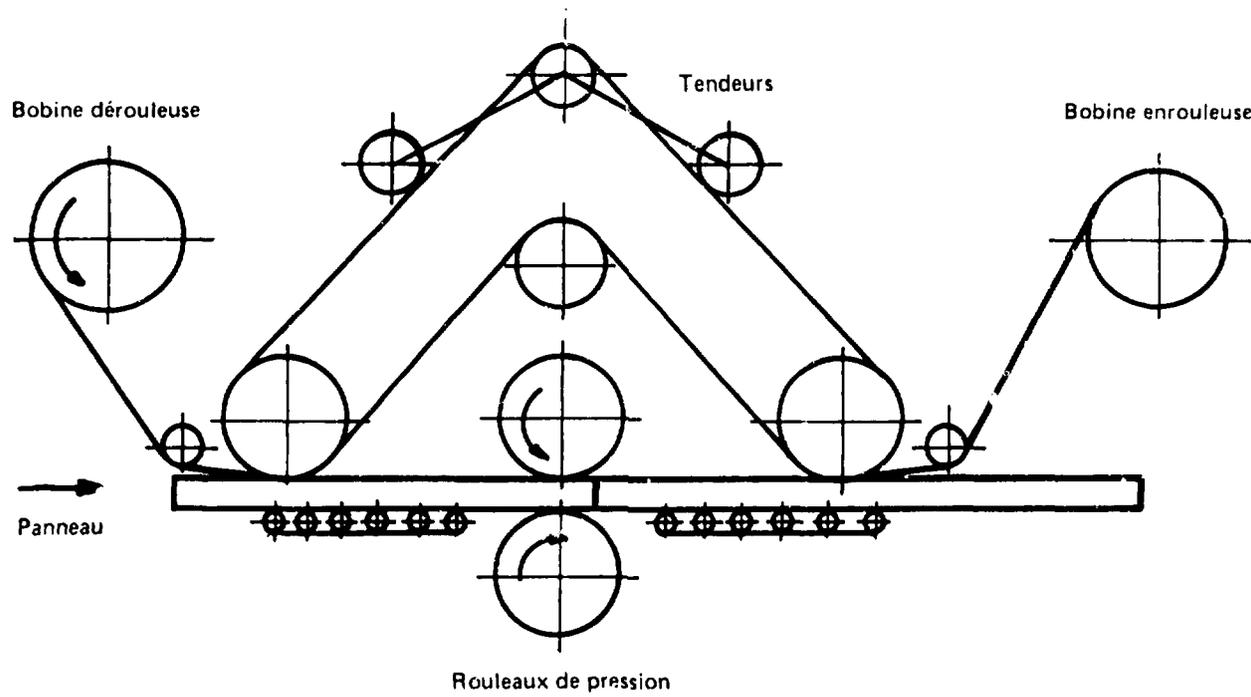
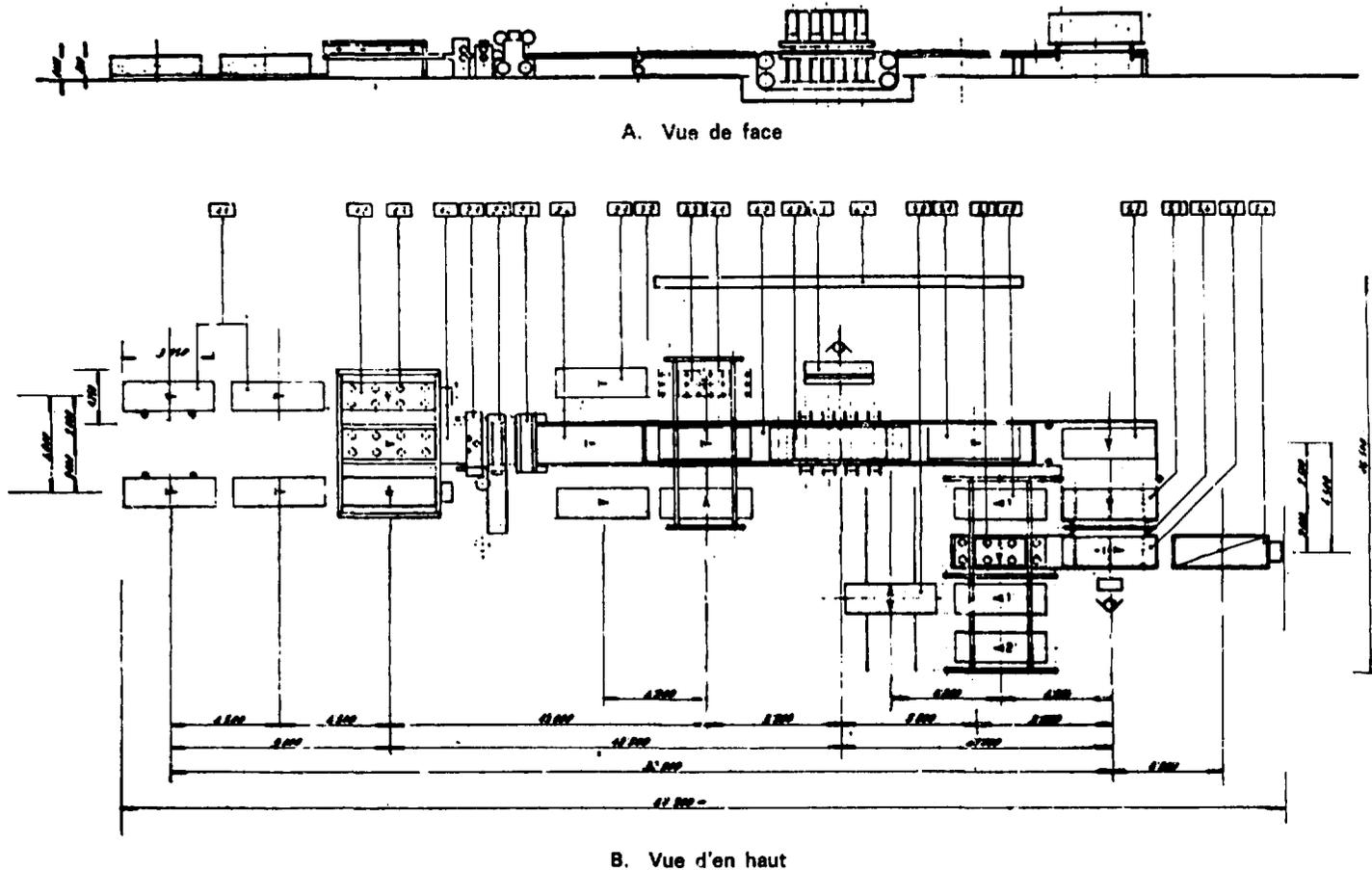
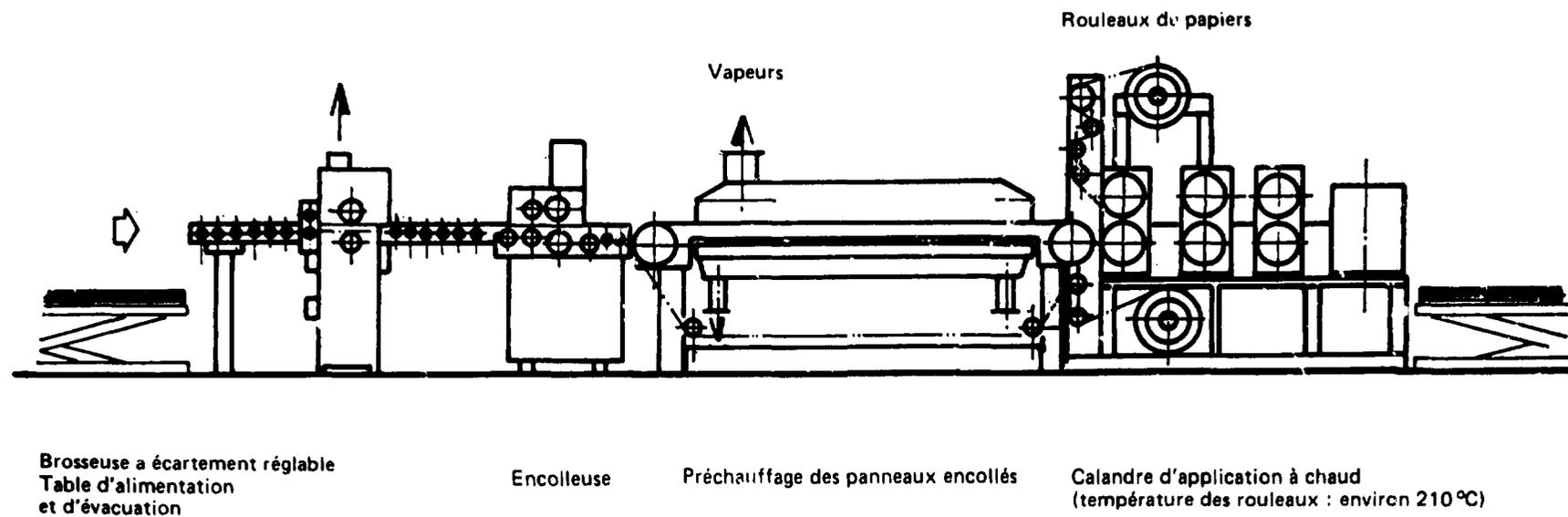


Figure 17. Installation automatique de stratification avec papiers légers



- Légende :**
- | | | |
|---|---|---|
| 1.1 Table à rouleaux moteurs | 2 Table élévatrice micrométrique | 4 Culbuteur de panneaux |
| 2 Table élévatrice hydraulique | 3 Ventouse de chargement des papiers | 5 Table à rouleaux moteurs |
| 3 Ventouses de chargement des panneaux | 4.1 Série de rouleaux pour le chargement des panneaux | 6 Table élévatrice hydraulique |
| 4 Transporteur à bande | 2 Transporteur à bande | 7 Ventouses de sélection |
| 2.1 Machine à broser | 3 Presse à un seul étage | 8 Table à rouleaux moteurs |
| 2 Encolleuse à 4 rouleaux | 3.1 Table à rouleaux moteurs | 9 Chariot automoteur |
| 3 Dispositif d'accouplement des papiers | | 6.1 Pupitre de commande |
| 4 Table à rouleaux moteurs | | 2 Panneau de contrôle électrique |
| 3.1 Table à rouleaux moteurs | | 4 Boîte de contrôle à boutons-poussoirs |

Figure 18. Installation pour l'application de papiers sur des panneaux de contre-plaqué



Choix des installations

En matière de stratification, les matières premières disponibles, la qualité des surfaces et des panneaux, l'importance de la production (en fonction du marché) et les exigences des utilisateurs sont les facteurs déterminants. Néanmoins, le choix de tel ou tel type d'installation dépendra toujours de la qualité des surfaces, de la capacité de production et de la souplesse de l'installation. L'investissement initial n'est pas toujours un facteur déterminant. La stratification classique, c'est-à-dire par les procédés chaud/froid ou chaud/chaud, garde encore la préférence. Pour toutes ces raisons, il est impossible d'établir des règles précises pour le choix des installations.

Sans nul doute, la consommation totale de panneaux stratifiés dans un pays, les ressources énergétiques et les qualifications de la main-d'œuvre disponible, la possibilité d'exportation et, d'une manière générale, les conditions commerciales sont autant de facteurs qui peuvent inciter les investisseurs à choisir des installations plus ou moins perfectionnées, nécessitant plus ou moins de main-d'œuvre et pouvant être plus au moins automatisées. Chaque situation doit être considérée comme un cas d'espèce et analysée de temps à autre. Une coopération étroite avec les constructeurs de machines — qui doivent être non seulement des vendeurs, mais aussi des conseillers et des amis — revêt une importance vitale. C'est la seule manière d'obtenir en fin de compte des résultats satisfaisants et de contribuer ainsi à la croissance industrielle des divers pays du monde.

XV. Produits et matériels pour la finition des surfaces*

Ce chapitre a trait aux procédés de finition des surfaces des objets en bois; on y expose les diverses compositions et les types de produits qui peuvent être appliqués, ainsi que les divers instruments et machines utilisés à cette fin.

Laques et vernis

La laque est une substance naturelle qui peut être fournie par des arbres de la famille des anacardiées l'Extrême-Orient, dont *Melano hoes laccifera*, ou sécrétée par les glandes épidermiques d'une cochenille de l'Inde, *Toecharidia lacca*. Elle est incolore et transparente. Dans le langage moderne, on entend par « laques » des vernis celluloseux à base de nitrate ou d'acétate de cellulose dissous dans un solvant volatil et contenant en outre des résines naturelles ou synthétiques ou des plastifiants. De manière générale, les laques durcissent par simple évaporation des solvants, tandis que les autres produits de vernissage durcissent par évaporation et polymérisation.

Les vernis peuvent être classés en trois groupes principaux : à l'huile, à l'alcool, synthétique. Les vernis à l'alcool ne contiennent ni huile, ni acides gras; comme les vernis celluloseux (laques), ils durcissent par évaporation des solvants volatils, sans qu'il y ait oxydation ou polymérisation.

La composition et l'application des laques et vernis doivent être effectuées avec le plus grand soin et en suivant des règles très strictes, sous peine de provoquer des défauts de finition des surfaces auxquels il serait difficile, voire impossible, de remédier.

Pigments

Un pigment peut être défini comme une substance colorante insoluble dans le liquide où elle se trouve en suspension ou en dispersion. Les pigments sont très utilisés dans les peintures et les vernis de revêtement des articles en métal ou en bois. Etant donné, d'une part, la tendance actuelle à varier les couleurs des meubles et éléments de décoration intérieurs et, d'autre part, la raréfaction des bois traditionnels d'ébénisterie, le rôle des pigments dans la finition des meubles va croissant.

Mastic

Le mastic est souvent considéré comme étant à la base d'une belle finition. Beaucoup de bois utilisés dans la fabrication de meubles ont un grain grossier, c'est-à-dire des pores nettement visibles à l'œil nu, qu'il faut dûment mastiquer afin d'obtenir l'effet final désiré. Les conifères et les bois à grain fin n'exigent pas, en général, de masticage; toutefois, ils sont parfois mastiqués en vue d'uniformiser le pouvoir absorbant des différentes zones des surfaces.

* Par G. D. Beccaria, expert en finition des surfaces. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/7/Rev.1.)

Composition d'un produit de vernissage

Un produit de vernissage contient :

- a) Un liant; il est constitué de un ou plusieurs produits généralement polymères (résines): c'est du liant que dépendent essentiellement les caractéristiques mécaniques et chimiques du film qui sera obtenu;
- b) Des solvants; c'est d'eux que dépend le pouvoir d'application du produit de vernissage;
- c) Des pigments (dans le cas de produits pigmentés); ils confèrent la couleur et le pouvoir couvrant au produit de vernissage; ils influent aussi sur les caractéristiques mécaniques et chimiques des films;
- d) Des additifs; ajoutés en petites quantités, ils améliorent les caractéristiques chimiques et mécaniques des films, ainsi que leur pouvoir d'application; par exemple, le stéarate de zinc facilite le ponçage des couches de fond; divers silicones activent la libération de l'air des films appliqués par pulvérisation, etc.

Types de produits de vernissage

Les produits de vernissage utilisés dans l'industrie du meuble en Europe et plus spécialement en Italie sont les suivants :

- Produits de vernissage polyuréthanes
- Produits de vernissage polyesters
- Produits de vernissage polyesters à brillant direct
- Produits de vernissage uréiques à catalyseur acide
- Produits de vernissage nitrocellulosiques

Généralement, les produits de vernissage sont transparents et non pigmentés, alors que les peintures sont des produits pigmentés.

Produits de vernissage polyuréthanes

Les produits de vernissage polyuréthanes ont normalement deux composants. Le premier composant est généralement constitué de résines synthétiques en solution dans des solvants organiques; ces résines sont le plus souvent du type polyester (alkyd, polyester saturé), mais peuvent être du type acrylique, vinylique ou composé.

Le second composant est constitué en général de polyisocyanates en solution dans des solvants organiques. Les plus utilisés actuellement sont les homopolymères de toluène diisocyanate, les copolymères de toluène diisocyanate et de l'hexaméthylène diisocyanate, le biuréate de l'hexaméthylène diisocyanate. On peut aussi utiliser d'autres types de polyisocyanates.

Produits de vernissage polyesters

Les produits de vernissage polyesters sont normalement constitués de solutions non saturées de polyester en styrène. Les résines polyesters non saturées sont caractérisées par leur structure à doubles liaisons ou liaison non saturée. Ces doubles liaisons, par l'action d'un catalyseur (normalement des sels organiques de cobalt et des peroxydes organiques), s'ouvrent et réagissent avec les doubles liaisons du styrène, provoquant ainsi la formation sur le support d'un polymère à réseau tridimensionnel.

Produits de vernissage polyesters à brillant direct

Si les produits de vernissage polyesters décrits ci-dessus sont appliqués normalement, ils sont inhibés pendant la polymérisation par l'oxygène de l'air (la surface reste collante et ne durcit pas). On peut remédier à cet inconvénient en ajoutant 0,1-0,2 % de paraffine à point de fusion peu élevé, mais ceci implique des opérations ultérieures assez coûteuses (ponçage et, si nécessaire, polissage). L'addition

de groupes allyliques dans la structure des résines polyester permet la polymérisation en présence d'oxygène. En présence de catalyseurs appropriés (seis organiques de cobalt), ces groupes allyliques réagissent avec l'oxygène de l'air et participent à la réaction normale d'ouverture des doubles liaisons et à la formation d'une structure à réseau tridimensionnel.

Produits de vernissage uréiques à catalyseur acide

Ce sont des produits à deux composants. Le premier composant est constitué d'une solution en solvants organiques de résines uréiques et de résines alkydes (mais on peut aussi utiliser des résines vinyliques et des résines acryliques). La polymérisation est essentiellement le résultat d'une réaction entre les groupes méthyloliques des résines uréiques et les groupes oxhydriliques des autres résines.

La réaction est provoquée à la température ambiante en ajoutant le second composant, normalement une solution en solvants organiques de substances acides telles que l'acide phosphorique, des phosphates organiques acides, etc.

Il existe aussi des produits uréiques à catalyseur acide, à un seul composant.

Produits de vernissage nitrocellulosiques

Les produits de vernissage nitrocellulosiques sont constitués de solutions de nitrocellulose en solvants organiques.

Pour que les films aient de très bonnes caractéristiques mécaniques, il faut absolument ajouter à ces solutions d'autres résines (telles que les alkyds) et des plastifiants (tels que le phtalate de butyle, l'huile de ricin, etc.). Dans ce cas, le film est formé par simple évaporation des solvants, sans qu'il y ait polymérisation.

Choix du produit de vernissage

Le choix d'un produit de vernissage dépend de nombreux facteurs. Il est pratiquement impossible d'en donner une définition et une description exhaustives. Chaque situation doit être examinée en détail, car chacune aura une solution spécifique. Pour mieux comprendre l'impossibilité de proposer des solutions générales pour le choix des produits de vernissage, il suffit de penser aux différences entre les pays en matière de main-d'œuvre, de goûts et de mode, de machines disponibles, etc.

En dépit des efforts pour généraliser les données disponibles, les tableaux et commentaires ci-après reflètent la situation dans l'industrie italienne du meuble. Toutefois, les données présentées peuvent constituer une bonne base de discussion sur le choix d'un cycle de vernissage.

Les tableaux ci-après tiennent compte des méthodes industrielles actuellement appliquées; les produits et procédés qui font encore l'objet de recherches n'ont pas été pris en considération.

TABLEAU 1. PRODUITS DE VERNISSAGE ET PROCÉDES D'APPLICATION

<i>Produit de vernissage</i>	<i>Mode d'application</i>							
	<i>Pinceau</i>	<i>Pulvérisation</i>	<i>Pulvérisation sans air</i>	<i>Rouleau</i>	<i>Rideau et rouleau</i>	<i>Rideau 1 tête</i>	<i>Rideau 2 têtes</i>	<i>Pulvérisation électrostatique</i>
Polyuréthanes	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Polyesters	Oui	Oui	Non	Oui ^a	Oui	Non	Oui	Oui
Polyesters à brillant direct	Oui	Oui	Limité	Oui ^a	Oui	Non	Oui	Oui
Uréiques à catalyseur acide	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Nitrocellulosiques	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

^a Seulement pour les produits séchables par rayons ultraviolets.

On peut constater que les produits de vernissage polyesters ne peuvent pas être appliqués par pulvérisation sans air, ni à l'aide de la vernisseuse à rideau à une tête, ni (dans la plupart des cas) avec une machine à rouleau, car leur vie utile est extrêmement brève (de 5 à 30 minutes à la température ambiante). Ceci est également vrai pour les polyesters à brillant direct; toutefois, en prolongeant la durée de vie utile jusqu'à 1 heure et en travaillant avec de petites quantités de produit catalysé, on peut utiliser la pulvérisation sans air. Pour les produits uréiques à catalyseur acide et les nitrocellulosiques, l'emploi de vernisseuse à rideau à deux têtes n'est avantageux que dans des cas très particuliers.

TABLEAU 2. CONDITIONS DE SECHAGE DES PRODUITS DE VERNISSAGE

Produit de vernissage	Conditions de séchage						
	Séchage à la température ambiante			Séchage en tunnel à air chaud 20-70 °C	Séchage par ultraviolets faible intensité	Séchage par ultraviolets forte intensité	Séchage par infrarouges et ventilation forcée
	10-15 °C	15-30 °C	30-35 °C				
Polyuréthanes	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Polyesters	Non	Oui	Limité	Oui	Oui	Oui	Oui
Polyesters à brillant direct	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Uréiques à catalyseur acide	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Nitrocellulosiques	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui

Ce tableau montre que les produits qui, avec des adjuvants appropriés (par exemple des diluants) peuvent être utilisés à la température indiquée, peuvent généralement être séchés à des températures comprises entre 15 et 30 °C. Pour les températures supérieures (séchage dans des tunnels à air chaud, entre 20 et 70 °C), ils doivent être formulés de façon particulière. Par « ultraviolets de faible intensité », on entend les installations où la puissance absorbée est inférieure à environ 1 watt par centimètre de lampe; par « ultraviolets à forte intensité », on entend les installations où la puissance absorbée est égale ou supérieure à 30 watts par centimètre de lampe.

Dans les appareils à infrarouges, on peut utiliser en général des lampes ou sources à longueurs d'onde courtes, moyennes ou longues. Dans le séchage par ultraviolets ou infrarouges, une bonne ventilation est toujours nécessaire, de préférence avec de l'air préchauffé.

TABLEAU 3. TEMPS MINIMUMS DE SECHAGE POUR OBTENIR UNE FINITION OPAQUE

Produit de vernissage	Conditions de séchage				
	A la température ambiante (heures)	Dans tunnel à air chaud 20-70 °C (minutes)	Par ultraviolets de faible intensité (minutes)	Par ultraviolets de forte intensité (secondes)	Par infrarouges ondes moyennes (minutes)
Polyuréthanes	4-6	12-16	Non utilisé	Non utilisé	8-16
Polyesters	2-4	12-16	4-5	5-30	8-16
Polyesters à brillant direct	24-36	Non utilisé	4-5	5-30	Non utilisé
Uréiques à catalyseur acide	4-6	20-25	Non utilisé	Non utilisé	8-16
Nitrocellulosiques	2-4	12-16	Non utilisé	Non utilisé	8-16

Sauf dans le cas du séchage à la température ambiante, il faut toujours ajouter 1-2 minutes au temps indiqué dans le tableau pour le refroidissement par ventilation forcée à une température inférieure ou égale à 25 °C. Il ne faut pas oublier que dans le séchage par rayons ultraviolets, il est pratiquement

impossible d'utiliser des produits de vernissage pigmentés. En général, plus le séchage est rapide et plus il faut faire avec soin la préparation du produit et son application. Des variations dans le type et la concentration des catalyseurs ou dans la dilution peuvent être tolérées si le séchage est fait à la température ambiante, mais ne sont pas admissibles dans le cas du séchage forcé, car elles provoqueraient des dommages sérieux. Bien qu'il soit possible de respecter les temps indiqués, il est conseillé de les prolonger pour le séchage par ventilation forcée (il faut au moins les doubler), afin de réduire les risques d'erreur.

TABLEAU 4. TEMPS DE SECHAGE ET TEMPS DE DURCISSEMENT A LA TEMPERATURE AMBIANTE POUR UNE FINITION BRILLANTE

Produit de vernissage	Conditions de séchage		
	A la température ambiante (heures)	Dans tunnel à ventilation forcée d'air à 20-70 °C (heures)	Par ultraviolets à faible intensité (heures)
Polyuréthanes	24	—	—
Polyesters	6-8	1 + 3	—
Polyesters à brillant direct	24-36	—	0,1 + 2
Uréliques à catalyseur acide	—	—	—
Nitrocellulosiques	6-8	0,5 + 1,5	—

Les produits de vernissage polyesters considérés dans ce tableau sont du type à polir : après les temps indiqués, il faut poncer à l'aide d'un papier abrasif à grain de 280-320, puis polir à l'aide d'une brosse avec de la pâte abrasive, puis du polish. Les autres surfaces brillantes pourraient être laissées telles quelles; si l'on veut éliminer les points dus à la poussière atmosphérique, il faut poncer légèrement avec du papier abrasif à grain 600, puis polir à la brosse avec polish. Le graphique ci-après montre l'influence de l'épaisseur, de la ventilation et de la température sur le temps de séchage; il s'agit évidemment de valeurs relatives, et non de valeurs absolues. On voit clairement sur le graphique que l'augmentation de l'épaisseur fait augmenter plus que proportionnellement, à ventilation et température égales, le temps de séchage : si l'épaisseur double, le temps de séchage est multiplié par trois ou quatre. L'augmentation de la ventilation, à épaisseur et température égales, réduit le temps de séchage : si la ventilation double, le temps de séchage est divisé par deux ou même par trois. L'augmentation de température, à épaisseur et ventilation égales, réduit le temps de séchage : si la température double, le temps de séchage est diminué de la moitié ou des trois quarts.

Dans tous les cas, il y a des limites qu'il est préférable de ne pas dépasser. En ce qui concerne la ventilation, il ne faut pas dépasser la vitesse de 3-4 m/s, bien que pour le séchage de produits appliqués en petites quantités (30-40 g/m²) on puisse arriver à 10 m/s; en effet, il faut éviter que la ventilation ne fasse bouger le film de vernis et ne provoque ainsi des défauts de surface. En ce qui concerne la température, les limites dépendent de la résistance à la chaleur du support et des colles utilisées; en général, quand les chants sont collés avec des colles polyacétovinyliques, la température de l'air de séchage ne doit pas dépasser 80-90 °C.

Le tableau 5 montre que les produits polymérisés ont en général des caractéristiques mécaniques et chimiques bien meilleures que celles des produits non polymérisés.

Pour ce qui est du jaunissement, il faut faire une distinction entre les produits pigmentés et les produits transparents; pour les premiers, il est très important que le jaunissement dû au liant et éventuellement au pigment soit minimal; pour les seconds, le jaunissement dû au liant n'est important que si l'on doit enduire des bois clairs ou des bois peints en blanc. La protection contre les ultraviolets de la lumière solaire que les produits non pigmentés peuvent offrir au bois est encore plus importante; pour l'obtenir, il suffit d'ajouter au produit de vernissage des absorbants appropriés des rayons ultraviolets.

Les produits destinés à la couche de fond sont ceux qui seront en contact direct avec le bois; selon le type de bois et selon qu'il faut boucher plus ou moins les pores, on doit appliquer une ou plusieurs couches de fond. Elles servent à créer le meilleur support possible pour la couche de finition.

Temps de séchage en fonction de l'épaisseur, de la ventilation et de la température
(valeurs relatives)

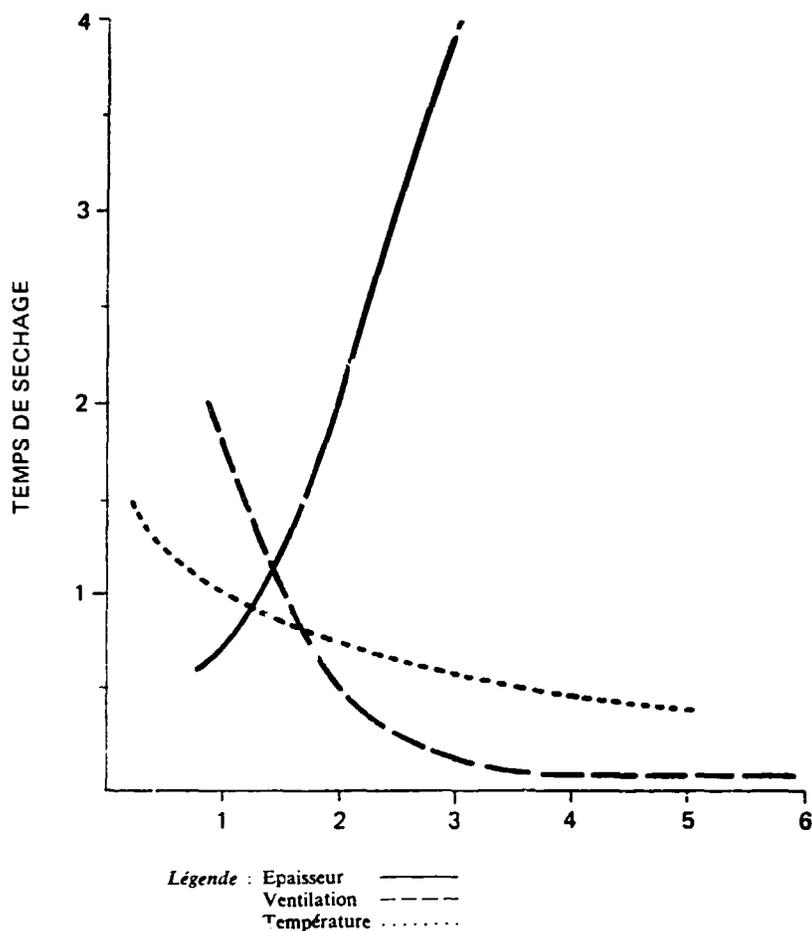


TABLEAU 5. CARACTERISTIQUES MECANQUES ET CHIMIQUES DES FILMS DE PRODUITS DE VERNISSAGE

Produit de vernissage	Caractéristiques										
	Adhérence	Dureté	Elasticité	Résistance aux écarts de température	Résistance à la chaleur sèche	Résistance à la chaleur humide	Résistance à l'alcool	Résistance à l'eau	Jaunissement	Résistance aux cigarettes	Résistance aux produits d'entretien
Polyuréthanes	O	B/O	O	B/O	O	O	B/E	E	M/E	O/E	E
Polyesters	B/O	B	M/B	M	O	O	B/E	E	B/E	O/E	E
Polyesters à brillant direct	O	B	B	M/B	O	O	B/E	E	B/E	O/E	E
Uréiques à catalyseur acide	B/O	B/E	M/B	M/B	M/B	M	M/B	M/B	B/O	O/E	I/M
Nitrocellulosiques	B/O	B	M/B	M/B	I/M	I/M	I/M	I/M	M/B	I/M	B

Légende : E Excellent
O Optimal
B Bon
M Moyen
I Insuffisant

Les deux principales caractéristiques exigées par les utilisateurs sont la prédisposition au ponçage et la résistance à la surpulvérisation. Une bonne prédisposition au ponçage permet de travailler rapidement et d'obtenir des surfaces parfaites et sans défauts; une bonne résistance à la surpulvérisation prévient les variations de la couche de fond et élimine donc le risque de perte de planéité obtenue par le ponçage.

A propos de l'inhibition par les bois du type palissandre, il faut rappeler la nécessité d'effectuer des essais de vernissage sur des échantillons de bois. En effet, le bois varie trop souvent d'un lot à l'autre (et souvent dans un même lot) pour qu'on puisse savoir *a priori* si une ou deux couches d'isolants polyuréthanes seront suffisantes.

Les chiffres du tableau 7 montrent les raisons du succès des polyesters. En effet, les polyesters permettent de boucher parfaitement les pores du bois, même sur un support simplement calibré. En revanche, les produits polyuréthanes donnent un fini beaucoup plus esthétique, car les caractéristiques naturelles du bois restent plus visibles.

TABLEAU 6. CARACTERISTIQUES DES PRODUITS DE VERNISSAGE DESTINES A LA COUCHE DE FOND

Produit de vernissage	Caractéristiques						
	Elasticité	Résistance aux écarts de température	Adhérence au bois	Inhibition par le palissandre	Ponçage à la main	Ponçage à la machine	Surpulvérisation
Polyuréthanes	O	B/O	O/E	Non	B/O	O/E	O/E
Polyesters	M/B	M/B	B/O	Oui ^a	I	B/O	O/E
Polyesters à brillant direct	B	B	B/O	Oui ^a	M/B	B/O	O/E
Uréiques à catalyseur acide	M/B	M/B	M/B	Non	B	B	B/O
Nitrocellulosiques	M/B	M/B	B/O	Non	O/E	O/E	M/B

^a Peuvent être employés sur palissandre à condition d'appliquer préalablement un isolant polyuréthane.

TABLEAU 7. QUANTITES MAXIMALES DE PRODUITS DE VERNISSAGE APPLICABLES EN UNE COUCHE

Produit de vernissage	Quantité en g/m ²	
	Produit prêt à l'application	Produit sec
Polyuréthanes	140-180	60
Polyesters	320-380	340
Polyesters à brillant direct	200-250	180
Uréiques à catalyseur acide	120-140	50
Nitrocellulosiques	120-140	45

TABLEAU 8. QUANTITE DE PRODUITS DE VERNISSAGE NECESSAIRE SELON LE BOIS

Type de bois	Quantité en g/m ²	
	Pores bouchés	Pores ouverts
Bois très poreux (palissandre, acajou, etc.)	270	100
Bois moyennement poreux (noyer, chêne, etc.)	200	70
Bois peu poreux (aniégré, etc.)	140	40

Les chiffres des tableaux 7 et 8 utilisés conjointement permettent de déterminer, au moins approximativement, la quantité de produits de vernissage et le nombre de couches nécessaires pour boucher entièrement ou partiellement les pores.

Demande de travaux de finition

Les formulaires ci-joints « Travaux de finition » (annexe I) et « Questionnaire » (annexe II) devraient permettre d'établir une demande de travaux de finition appropriée.

Les problèmes de vernissage de bois à exposer à l'extérieur sont parmi les plus sérieux et les plus délicats. Pour obtenir de bons résultats, il faut suivre scrupuleusement les indications fournies par un bon fournisseur de peintures et vernis. Pour les bois qui ne sont pas exposés à l'extérieur, le cycle de vernissage est analogue à celui des meubles.

Par « panneaux à revêtir », on entend des panneaux qui ne seront pas exposés à l'extérieur; en effet, en Europe, les panneaux de revêtement en bois sont peu utilisés à l'extérieur.

Les meubles modulaires exigent une finition parfaite et constante, aussi bien du point de vue couleur que du point de vue vieillissement. Il faut, non seulement assurer l'uniformité de la fabrication d'une série à l'autre, mais aussi avoir la garantie que le vieillissement n'altérera pas les couleurs et l'aspect esthétique du meuble; sinon, il serait impossible d'assembler des éléments fabriqués et vernis à des dates différentes.

Dimensions du produit manufacturé

Les dimensions sont particulièrement importantes pour les panneaux de revêtement et les panneaux prévernissés. En effet, ces panneaux sont généralement de très faible épaisseur (3-5 mm), tout en étant très longs et larges (2 x 3 m; 2 x 5 m); ils exigent donc l'emploi de produits de vernissage très élastiques, car ils ont tendance à fléchir et donc à solliciter les films de vernis qui leur sont appliqués.

Support

A chaque type de support correspond un cycle de vernissage préférentiel. Par exemple, pour les panneaux de contre-plaqué et les panneaux stratifiés à structure en nid d'abeille, les variations normales d'épaisseur empêchent l'utilisation des machines à vernir à rouleau. Dans le cas des panneaux de particules normaux ou minces, une opération de calibrage est nécessaire avant le vernissage.

Type de surface à vernir

Le cycle de vernissage varie en fonction du type de surface à vernir. Par exemple, pour les panneaux de particules normaux, il faut prévoir une première couche de préparation pour boucher les pores et obtenir une surface parfaitement plane et uniforme pour l'application de vernis ou de peinture.

Dans une partie du questionnaire, on peut indiquer le cycle déjà utilisé et les améliorations souhaitées, ou bien indiquer simplement les machines disponibles.

Conclusion

La mise au point d'un cycle de vernissage peut être très simple, ou bien très compliquée. Tout dépend des relations entre fabricant de meubles, fournisseur de peintures et vernis et fournisseur de machines. Les trois parties doivent collaborer et échanger des informations sur les objectifs à atteindre et les moyens pour ce faire. Elles doivent aboutir à un accord raisonnable sur le choix du procédé de vernissage, des produits et des machines à utiliser, ainsi que sur les coûts de production du produit verni.

Négliger cette précaution fondamentale signifierait, dans de nombreux cas, que l'on aurait des installations ne répondant pas aux besoins ou même impossibles à faire fonctionner par suite d'un manque de produits adaptés aux machines ou vice versa.

Le développement du vernissage en Italie a été dans son genre unique au monde. De la production artisanale, c'est-à-dire de l'application manuelle des vernis, avec séchage à l'air ambiant, on est passé en 20 ou 30 ans aux cycles automatiques de vernissage, sans porter préjudice à l'excellente qualité de la production. On peut tirer parti de cette expérience pour résoudre les problèmes qui se posent dans les pays en développement.

Matériel et installations de vernissage

Introduction

Le choix du matériel et des installations de vernissage n'est pas une question aisée, car il dépend de nombreux facteurs techniques et autres, parmi lesquels :

- a) Les capitaux disponibles;
- b) Le niveau de qualifications de la main-d'œuvre disponible;
- c) La qualité et la quantité de la production envisagée;
- d) L'espace disponible pour les installations;
- e) La nature des supports à revêtir.

Il est donc évident qu'aucune solution générale ne peut être proposée et que chaque cas particulier doit faire l'objet d'une analyse approfondie. En conséquence, on ne trouvera ci-après qu'une description des outillages utilisés dans le secteur du vernissage industriel des meubles.

Il faut souligner une fois encore qu'aucune installation ne peut être choisie sans une sérieuse confrontation et une bonne collaboration entre l'acheteur, le fournisseur de l'installation et le fournisseur des peintures et vernis. Plus le procédé de vernissage est complexe et plus la collaboration est indispensable; agir autrement signifie courir le risque de résultats désastreux, aussi bien pour la qualité que pour la quantité de la production.

Un autre facteur important est le rythme de production. De manière générale, plus le vernissage est rapide et plus il faut prêter attention à la préparation, au conditionnement du support et au déroulement des différentes phases du cycle de vernissage : par exemple, une heure de séchage en moins pour un produit séché en 8-12 heures peut ne pas présenter d'inconvénient; 30 secondes en moins dans un cycle de séchage de 10-12 minutes peuvent être fatales. Un autre exemple : fixer la quantité applicable à 120-140 g/m², au lieu de 100-120 g/m², peut être sans importance si le séchage est fait à la température ambiante pendant au moins 8-12 heures; mais il n'en est pas de même si le séchage est assuré par ventilation forcée à 25-50 °C en moins de 1 heure.

Pour l'exposé ci-après, l'équipement pour les travaux de vernissage sera divisé en deux groupes : équipement d'application et équipement de séchage.

Choix de l'équipement d'application

Application à la main

Les méthodes d'application à la main des peintures et vernis ne survivent que dans des travaux de caractère purement artisanal (réparations et imitations de meubles anciens, petits travaux de restauration) ou dans l'entretien de bois exposés à l'extérieur (portes, fenêtres, etc.). Les caractéristiques de ces méthodes sont : frais d'investissement négligeables, coût élevé de la main-d'œuvre et vitesse d'application très lente. L'outillage nécessaire est simple : tampon, filière à enduire et pinceau.

Le tampon n'est utilisé que dans des cas particuliers (restauration). Il est constitué d'une masse de fils de coton ou de laine enveloppée dans une toile de lin ou de coton. Pour ce mode d'application, on utilise le plus souvent des produits nitrocellulosiques. L'application exige une très grande habileté de la part de l'opérateur; la partie inférieure du tampon est imprégnée d'une petite quantité de peinture ou vernis, qui est ensuite appliquée par passes longitudinales sur le support déjà traité avec des bouche-pores appropriés. Cette première opération sert à transporter la quantité de vernis nécessaire sur le support. Pour égaliser la surface, il faut ensuite passer et repasser le tampon, en faisant généralement des mouvements en forme de huit.

L'application par extrusion est utilisée pour le vernissage d'objets tels que les queues de billard, les tiges, les crayons, etc., c'est-à-dire de section constante et régulière. La filière est normalement constituée d'un réservoir à ouvertures profilées, en caoutchouc spécial, qui permettent le passage de l'objet à vernir. On utilise généralement des produits nitrocellulosiques à haute viscosité.

L'application au pinceau est encore la plus utilisée, surtout pour la peinture ou le vernissage de bois de construction (portes, fenêtres, volets, etc.). Bien qu'elle soit très simple, l'application au pinceau ne donne pas des résultats parfaits : le produit ne s'étend jamais de manière absolument uniforme; les coulées sur les surfaces verticales sont très fréquentes. L'application au pinceau est donc utilisée, faute de mieux, lorsque le caractère fonctionnel du vernissage (résistance aux intempéries, protection contre l'humidité, etc.) l'emporte sur le caractère esthétique.

Application par pulvérisation

La peinture ou le vernis est projeté à l'état de gouttelettes très fines sur le support. Il existe deux modes principaux de pulvérisation : normal ou sans air.

Dans la pulvérisation normale, on utilise de l'air comprimé, filtré, déshumidifié et exempt d'huile; le produit de vernissage est mélangé à l'air, puis projeté hors du pistolet. La pression de l'air dans le pistolet peut varier de 2 à 6 atmosphères, selon le type de produit à vaporiser.

La consommation d'air par pistolet varie de 3 à 20 m³/h, selon la taille du pistolet. Il existe plusieurs types de pistolets, qui diffèrent essentiellement par le mode d'alimentation en produits de vernissage. Dans l'alimentation par gravité, le produit coule d'un petit réservoir rigidement fixé au-dessus du pistolet; ce type de pistolet est économique, léger, facilement nettoyable; il est couramment utilisé pour les travaux en petite ou moyenne série, où l'on doit souvent changer de produit de vernissage. Dans l'alimentation par aspiration, le produit vient d'un réservoir rigidement fixé au-dessous de la tête du pistolet; le flux d'air comprimé à travers le pistolet crée une dépression, attirant le produit, qui est ensuite entraîné dans la buse du pistolet. Les bons pistolets sont normalement munis de dispositifs de réglage de la quantité d'air comprimé et de produit de vernissage, ainsi que d'un système de réglage du jet de produit vaporisé. On peut ainsi appliquer n'importe quel type de produit, qu'il soit catalysé (polyesters, polyuréthanes, catalysés acides) ou non (synthétiques, nitrocellulosiques). Les résultats obtenus, qui peuvent être excellents, dépendent beaucoup du réglage du pistolet. Une bonne vaporisation exige une combinaison optimale entre pression de l'air, volume d'air et quantité de produit de vernissage; il faut aussi respecter les normes d'emploi du produit indiqué par le fournisseur (pression de l'air, diamètre de la buse, dilution et viscosité du produit), respecter certains principes techniques (distance entre le pistolet et l'objet à peindre ou vernir, vitesse et manière d'application, etc.) et tenir compte des conditions ambiantes (température, humidité, aération, absence de poussière).

Dans la pulvérisation sans air, le produit de vernissage est pulvérisé par une pression exercée directement par l'air comprimé, au moyen d'un réservoir, ou indirectement, au moyen d'une pompe à piston. Dans le premier cas, l'air comprimé exerce une pression sur le produit de vernissage qui est enfermé dans un réservoir indépendant, relié à la buse du pistolet par un tuyau en caoutchouc; dans le second cas, l'air comprimé actionne une pompe à piston qui exerce la pression nécessaire pour la pulvérisation du produit de vernissage. La pulvérisation sans air permet d'appliquer, à chaque passe, une plus grande quantité de produit de vernissage que la pulvérisation normale.

Elimination du « brouillard »

L'application par pulvérisation, quel que soit le procédé, doit être faite dans des locaux à bonne ventilation mécanique, pour des raisons d'hygiène et de sécurité : il faut réduire les concentrations de solvants au-dessous de la concentration maximale admissible et prévenir le risque de formation de mélanges explosifs air-solvants. La ventilation assure aussi l'absence de poussière dans le milieu ambiant et, par conséquent, un meilleur résultat. L'application par pulvérisation doit donc être effectuée dans des cabines de peinture à sec ou à rideau d'eau.

Dans les cabines de peinture à sec, un ventilateur mural aspire et évacue à l'extérieur les gaz, vapeurs et fumées produits pendant la pulvérisation; il existe aussi des dispositifs à filtres qui retiennent la plupart des particules solides.

Dans les cabines de peinture à rideau d'eau, un ou plusieurs rideaux d'eau, associés à des filtres à sec, absorbent la plupart des gaz, vapeurs et particules solides dégagés pendant la pulvérisation. Les cabines à rideau d'eau remplacent de plus en plus les cabines à sec.

On n'a pas encore trouvé de solution au problème de l'élimination des aérosols des produits de vernissage; pour le moment, on ne peut que conseiller aux opérateurs de porter des masques protecteurs adéquats.

Il existe actuellement trois types de dispositifs automatiques de pulvérisation :

a) Dispositifs à pistolets fixes : les pièces à vernir ou à peindre, placées sur un transporteur à bande, passent sous deux ou trois pistolets orientés de manière à vaporiser entièrement les pièces; l'ouverture et la fermeture des buses des pistolets sont commandées par des servo-mécanismes spéciaux; un bac est placé sous le transporteur de manière à recueillir la peinture vaporisée mais non utilisée; ce dispositif est très utilisé pour le vernissage ou la peinture des cadres et des plinthes de meubles.

b) Dispositifs à pistolets oscillants : les pièces à vernir ou à peindre, placées sur un transporteur à bande, passent au-dessous d'un pistolet animé, par commande hydraulique ou mécanique, d'un mouvement oscillant dans un plan perpendiculaire au transporteur; comme dans le cas précédent, des servo-mécanismes règlent l'ouverture et la fermeture de la buse du pistolet, en fonction du déplacement et des dimensions des pièces, et un bac recueille le vernis vaporisé mais non utilisé; ce dispositif est particulièrement utilisé pour le vernissage ou la peinture des battants, des frises, des poignées, des châssis, etc.;

c) Dispositifs à pistolets tournants : un arbre vertical fait tourner une série de bras (de 6 à 12) munis d'un pistolet à leur extrémité; les pistolets tournent perpendiculairement à un transporteur sur lequel sont placées les pièces à vernir ou à peindre. Des servo-mécanismes spéciaux commandent l'ouverture et la fermeture des buses, en fonction de la zone à vernir ou à peindre; ces dispositifs sont surtout utilisés pour la coloration du bois.

Il existe également un système de pulvérisation électrostatique : les particules pulvérisées sont projetées sur l'objet à vernir par l'intermédiaire d'un champ de force électrostatique. Ce mode d'application permet de réduire au minimum le gaspillage de produit de vernissage, tout en assurant un bon revêtement du support. Chaque dispositif électrostatique comprend un générateur à haute tension (40 à 90 kV pour les appareillages portatifs et jusqu'à 150 kV pour les appareillages fixes et automatiques). Il y a plusieurs systèmes de pulvérisation électrostatique.

La pulvérisation purement électrostatique peut être employée avec des liquides peu conducteurs (environ $10^9 \Omega/\text{cm}$). C'est un mode d'application à haut rendement, mais qui a un grand défaut : les pores du bois sont mal bouchés et restent souvent visibles. En outre, ce procédé n'est vraiment efficace que sous les climats secs.

La pulvérisation électrostatique avec utilisation de la force centrifuge est effectuée à l'aide d'un disque ou d'un godet en rotation sur lequel coule le produit de vernissage; la pulvérisation est plus facile et le travail est effectué dans le champ magnétique du produit lui-même; ce procédé permet le vernissage de produits à résistivité réduite ($10^8 \Omega/\text{cm}$).

Dans la pulvérisation électrostatique au moyen d'air comprimé, le produit de vernissage est pulvérisé avec des pistolets spéciaux, qui mettent les particules en agitation lente; dans ce cas, le champ électrostatique sert à diriger les particules vers la pièce à vernir ou à peindre; la résistivité des produits de vernissage doit être de $10^7 \Omega/\text{cm}$ environ.

Dans la pulvérisation électrostatique en dépression, le produit de vernissage est pulvérisé par la différence de pression et par le champ électrostatique; ce dernier sert ensuite à transporter les particules vers l'objet à vernir. La résistivité peut descendre jusqu'à $10^6 \Omega/\text{cm}$.

Lors du vernissage électrostatique du bois, il faut absolument contrôler l'humidité et la température ambiantes, ou bien utiliser des produits qui, appliqués normalement par immersion, permettent de modifier la conductibilité du bois. Les systèmes électrostatiques permettent d'appliquer n'importe quel type de produit de vernissage. Normalement, ils sont utilisés pour le vernissage de produits travaillés au tour (pieds de meuble, queues de billard, etc.), des meubles de radio et de télévision, des crosses de fusil, etc.

Application par immersion

Ce type d'application est indiqué plus particulièrement pour les objets de petite section ou difficiles à manipuler (pieds de chaise, tringles de rideau, manches à balai, etc.) et pour les objets exigeant une très bonne pénétration des produits de conservation et de protection (portes, fenêtres, etc.). Pour obtenir de bons résultats, il est préférable que les objets soient sphériques, cylindriques ou coniques. D'une manière

générale, il faut que l'objet à enduire n'ait ni creux ni reliefs qui nuiraient au bon écoulement du produit de vernissage pendant et après l'immersion, ceci pour éviter d'éventuelles protubérances. Dans le cas du vernissage de petites séries de pièces, on peut aussi éliminer les protubérances à l'aide d'une éponge ou en tournant l'objet à l'envers. L'essentiel pour obtenir un résultat satisfaisant est d'avoir un système mécanique adéquat pour l'immersion et pour le retrait des pièces. L'immersion doit être lente, de façon que l'air contenu dans le bois et dans les cavités du produit fini puisse être entièrement évacué. La vitesse de sortie du bain dépend essentiellement de la viscosité du produit de vernissage : plus la viscosité est élevée et plus la vitesse d'extraction doit être lente. Cette vitesse dépend aussi de la forme et des dimensions de l'objet verni; elle varie normalement entre 1 et 7 cm/mn. Pour que le vernis s'écoule parfaitement, il faut que les surfaces de l'objet qu'on sort du bain forment le plus petit angle possible avec la verticale. L'immersion peut aussi être effectuée à la main, à condition d'utiliser des produits à basse viscosité; toutefois, les résultats sont médiocres et ne sont acceptables que pour les prétraitements ou pour l'application des couches de fond sur des articles à bon marché.

L'équipement nécessaire est constitué essentiellement d'un bac qui doit être de préférence étroit et profond afin d'éviter une trop grande évaporation du solvant et une oxydation excessive du liant, avec un fond en forme de V. Le bac doit être muni d'un dispositif pour agiter les produits, afin d'empêcher la sédimentation des pigments dans le cas des peintures ou des vernis pigmentés, et d'un autre dispositif de filtrage, pour éliminer les particules solides (par exemple la sciure transportée par les pièces à vernir ou à peindre) en suspension dans le produit. L'agitation et le filtrage sont normalement effectués au moyen d'une pompe, qui recycle le contenu du bac à travers des filtres appropriés. En plus du bac, il faut un déversoir, un égouttoir et un couvercle. Le déversoir sert à éliminer les impuretés qui flottent sur le produit (bulles d'air, sciure, etc.); l'égouttoir recueille les gouttes de vernis ou de peinture qui tombent des objets à la sortie du bain et les renvoie dans le bac; le couvercle est mis sur le bac en dehors des heures de travail, afin de réduire les risques d'incendie, l'altération du bain et l'accumulation de poussières dans le produit de vernissage.

Application par arrosage

Ce procédé est assez peu utilisé pour le vernissage ou la peinture du bois. L'arrosage est normalement effectué au moyen d'une pompe et d'une série de buses qui déversent le produit sur l'objet à vernir ou à peindre. Un bac recueille le produit déversé mais non utilisé.

Le résultat obtenu dépend de la forme et des dimensions de l'objet, de l'orientation des buses, du débit de produit de vernissage et de la vitesse à laquelle les pièces traversent la zone d'arrosage.

Application par machine à rideau

La vernisseuse à rideau, mise sur le marché il y a une vingtaine d'années, a révolutionné le vernissage du meuble, car elle a permis d'effectuer la finition des éléments d'un meuble avant le montage final. Avec cette machine, on peut appliquer pratiquement tous les types de produits; les machines à deux têtes permettent l'application de produits qui sèchent très rapidement, tels que les polyesters. La seule limitation pour l'emploi de cette vernisseuse est la forme des pièces : on ne peut pas traiter des pièces courbées, avec des angles aigus, telles que les barres à section ronde, carrée ou rectangulaire. L'organe principal de la machine est une longue trémie (tête) rectangulaire, à fond ouvrable en forme de V. L'ouverture du fond est réglable avec une précision de 0,5 mm. Le produit sort par cette ouverture, forme un rideau de peinture ou de vernis et tombe dans un canal rectangulaire, d'où il s'écoule dans le réservoir d'alimentation de la pompe, laquelle renvoie le produit, à travers un filtre, dans la tête de la machine.

Les objets à enduire sont placés sur un transporteur à bande; ils passent à travers le rideau de produit et reçoivent ainsi une quantité dosée de ce produit. La quantité appliquée dépend de la vitesse d'avancement du transporteur (plus la vitesse est grande et plus la quantité de produit est petite) et de l'ouverture de la tête (plus elle est grande et plus la quantité de produit débitée est importante). Le débit de la pompe est fonction de sa vitesse, qui peut être réglée à l'aide d'un variateur; pour éviter la formation de mousse, il vaut mieux que la vitesse de la pompe soit le plus faible possible, en fonction de l'ouverture de la tête.

Les machines à deux têtes sont utilisées pour l'application des polyesters. Dans la première tête, on verse le polyester contenant le catalyseur (péroxyde); dans la seconde, on verse le polyester contenant

l'accélérateur. L'objet est donc enduit successivement du polyester catalysé et du polyester accéléré; le produit sèche donc d'une manière régulière.

La vernisseuse à rideau permet une finition d'une qualité nettement supérieure à celle que l'on obtient avec les autres systèmes d'application : meilleure répartition du produit, uniformité des épaisseurs et uniformité de l'opacité.

La quantité de produit appliqué peut varier de 60 g/m² à un maximum de 600-700 g/m² par passe, la quantité normale étant de 80-90 g/m². On peut faire varier la vitesse du transporteur de 20 à 150 m/mn et le débit des pompes de 5 à 25 l/mn. La largeur des pièces à enduire doit être normalement inférieure à 1 200-1 300 mm, mais avec des machines spéciales on peut vernir ou peindre des pièces ayant jusqu'à 2 300-2 500 mm de largeur. Les têtes étant réglables en hauteur, on peut enduire des pièces de différentes épaisseurs, normalement jusqu'à 150-200 mm.

Application par rouleaux

Par un rouleau

Avec cette machine, le produit de vernissage est appliqué dans le sens d'avance de la pièce. La plupart des machines ont trois rouleaux : le rouleau doseur, en acier chromé, lisse ou tramé; on règle la quantité de produit délivrée en modifiant la pression que le rouleau doseur exerce sur le rouleau d'application; le rouleau d'application, cylindre en acier revêtu de caoutchouc, qui répand le produit sur la pièce; le contre-rouleau, cylindre en acier revêtu de caoutchouc, qui sert à guider la pièce et à régler la pression exercée par le rouleau d'application.

Le type et la dureté du caoutchouc utilisé pour le revêtement des rouleaux sont d'importance primordiale. Normalement, la dureté (mesurée à l'aide d'un duromètre Shore A) est choisie en fonction du type de produit de vernissage; elle passe de 30 Shore pour les produits colorants à 60 Shore pour les polyesters destinés à la couche de fond et au séchage par ultraviolets. D'une manière générale, plus la viscosité du produit est grande et plus le rouleau de caoutchouc doit être dur. De même, le type de caoutchouc doit être adapté au produit de vernissage. On pourrait utiliser des élastomères à base de néoprène, qui résistent à tous les solvants employés dans la fabrication de peintures et vernis pour bois, mais on y a renoncé dans l'industrie parce que de tels rouleaux seraient excessivement coûteux et s'useraient aussi rapidement que les autres. Le problème de la résistance aux solvants se résout en demandant au fournisseur de produits de vernissage d'indiquer les solvants utilisés et en donnant les informations nécessaires au fournisseur de la machine ou des rouleaux.

On peut appliquer de 10 à 80 g/m², selon la viscosité du produit, la pression exercée par le rouleau doseur sur le rouleau d'application et la vitesse d'avance de la pièce.

Les résultats de l'application par un rouleau dépendent de la planéité du support; par exemple, si les panneaux ne sont pas parfaitement calibrés, certaines zones recevront une couche trop épaisse, tandis que d'autres resteront pratiquement nues. Il est extrêmement difficile d'obtenir une répartition parfaitement uniforme des produits si l'on travaille avec des produits à grande viscosité et des temps de dessèchement inférieurs à 2 ou 3 minutes. Tous ces problèmes expliquent pourquoi la machine à un rouleau n'est généralement utilisée que pour l'application de la couche de fond ou de peinture.

Par deux rouleaux

La machine est semblable à la précédente, mais elle est pourvue de deux rouleaux supplémentaires : le rouleau de lissage et son contre-rouleau. Le rouleau de lissage tourne en sens inverse du rouleau d'application; il est imprégné d'un solvant approprié; il sert à lisser et à égaliser la couche de produit appliqué par le premier rouleau.

Cette machine a eu un certain succès dans l'application de mastics polyesters, pour séchage aux ultraviolets, sur des supports à l'état brut très absorbants (par exemple des panneaux de particules à l'état brut). On prépare ainsi le support pour les applications successives d'une couche de fond et d'une couche de finition, éventuellement précédée d'une impression.

Avec cette machine, on peut appliquer de 10 à 200 g/m² de produit. Si l'on doit procéder au séchage par ultraviolets, la quantité maximale de produit est de 100-120 g/m², sinon le produit ne sécherait pas en profondeur et n'adhérerait pas au support.

La largeur utile de travail est normalement de 1 300 mm; l'épaisseur maximale des pièces est de 200 mm.

La vitesse d'avance des pièces peut varier de 2 à 20 m/mn. Normalement, la longueur des pièces ne doit pas être inférieure à 200/300 mm.

Application par tambour tournant

Ce procédé d'application est spécialement indiqué pour le vernissage d'objets très petits et en grande quantité.

Le matériel consiste essentiellement en un récipient cylindrique (rarement octogonal) qui tourne autour d'un axe horizontal, à une vitesse variant de 20 à 50 tr/mn. Le corps du tambour et le couvercle sont perforés de manière à permettre l'évaporation du solvant. Les objets à vernir sont chargés dans le tambour, qui est rempli à 50-80 % de son volume total; on y ajoute la quantité voulue de vernis, qui est déterminée à la suite de différents essais préalables. Le tambour doit alors tourner pendant un temps qui peut varier de 30 à 60 minutes; puis les pièces sont retirées lorsqu'elles sont sèches. La viscosité des produits utilisés (généralement des nitrocellulosiques) doit se situer autour de 60-70/CF4 à 20 °C. La quantité de vernis nécessaire est normalement de 100-150 g/m² de surface à enduire.

Application par centrifugation

Comme le précédent, ce procédé est indiqué pour les petites pièces. Elles sont placées dans un panier à filet métallique, qui est ensuite immergé dans un récipient rempli d'un produit de vernissage, en général nitrocellulosique, à basse viscosité; le panier est ensuite retiré mécaniquement. Le panier est alors introduit dans une centrifugeuse, qui enlève l'excès de vernis; le produit est séché pendant la centrifugation.

Impression du grain

La machine à imprimer sur bois est en fait une machine du type offset simplifiée. Un cylindre d'acier, sur lequel est reporté par un processus photographique le grain à reproduire, tourne dans un bac où il prélève de l'encre; un racleur enlève l'excès d'encre, de sorte à n'en laisser que dans le dessin gravé sur le cylindre. Un second cylindre en acier, revêtu de caoutchouc, reçoit l'impression du premier cylindre et la reproduit fidèlement sur le panneau de bois qui passe au-dessous de lui grâce à un transporteur à rouleaux.

L'impression sur bois est réalisable de deux manières, selon le type de support :

a) Support à bon marché, par exemple panneaux de particules. Dans ce cas, les panneaux passent tout d'abord dans une machine à mastiquer, qui applique une ou deux couches de mastic polyester; le mastic est ensuite séché aux rayons ultraviolets. Les panneaux sont alors poncés, puis reçoivent une ou deux couches de fond. Après séchage, on procède à l'impression du grain, en général avec deux machines à imprimer. On utilise deux machines à imprimer pour varier l'épaisseur du film et la densité des nuances, ce qui donne l'apparence d'un relief. Le cycle se termine par un vernissage normal;

b) Panneau revêtu d'un placage à bon marché. La seule différence avec le cas précédent est l'utilisation d'une couche de fond entièrement transparente ou semi-transparente; ceci a pour but de laisser apparaître l'aspect « naturel » du bois. Ce procédé donne d'excellents résultats.

Pour fonctionner correctement et efficacement, la machine à imprimer demande un entretien constant par un personnel spécialisé. Ceci explique pourquoi, après avoir connu un grand succès, la machine à imprimer est peu à peu éliminée des installations.

Séchage après vernissage

Séchage à l'air ambiant

Les peintures et vernis peuvent être simplement séchés par l'air ambiant. Il faut disposer d'une zone couverte et d'un système de conditionnement de l'air. Une installation de ventilation mécanique est indispensable, tant pour l'hygiène que pour la sécurité. La ventilation doit être suffisante pour maintenir

toutes les parties du local au-dessous de la concentration maximale admissible et pour prévenir tout risque d'explosion du fait des solvants. La ventilation influe énormément sur le séchage, et la vitesse de l'air doit donc être uniforme.

Cette méthode de séchage tend à disparaître en raison des difficultés qui se posent : uniformité du séchage, débits nécessaires pour ne pas atteindre la concentration maximale admissible, espace nécessaire et lenteur du séchage. Elle n'est pratiquement valable que pour de petits travaux à l'échelon artisanal.

Séchage par air chaud

C'est le procédé de séchage le plus courant, en raison de sa grande simplicité. Il permet de sécher n'importe quel type de produit, à condition de disposer du matériel approprié.

Les fours à chaîne continue ont été réalisés pour remédier aux inconvénients du séchage à l'air. Les objets vernis sont disposés sur des chariots, entraînés par une chaîne continue, qui sont automatiquement introduits dans un four. L'évaporation de la plupart des solvants dans le four est assurée par l'action combinée du chauffage et de la ventilation mécanique.

Les temps de séchage sont approximativement les suivants :

<i>Produit de vernissage</i>	<i>Temps pour un fini brillant (heures)</i>
Polyuréthanes	2-3
Polyesters	0,5-1
Uréiques à catalyseur acide	2-3
Nitrocellulosiques	0,5-1,5

Les fours à chaîne continue sont indiqués pour le séchage de n'importe quel genre d'articles manufacturés : panneaux, cadres, meubles assemblés, chaises, etc. Ce type de four peut sécher jusqu'à 1 500-2 000 m²/jour.

Les fours-tunnels sont constitués essentiellement d'un transporteur à bande qui traverse un tunnel dans lequel est insufflé de l'air chaud. Le tunnel est normalement divisé en trois sections : dessèchement, séchage, refroidissement. La température et la ventilation dans les trois sections varient en fonction des produits de vernissage. En général, la température varie de 20 °C à 50 ou 70 °C, selon la vitesse du transporteur. La capacité de séchage peut atteindre 2 000 ou 3 000 m²/jour, selon la forme et les dimensions des pièces vernies. Les fours-tunnels sont particulièrement indiqués pour le séchage d'objets plats.

Les fours-tunnels à plusieurs étages sont analogues aux précédents, sauf qu'ils sont traversés par plusieurs transporteurs à bande superposés (jusqu'à 10) dont le chargement est généralement automatique. Leur capacité de travail est semblable à celle des fours à chaîne continue. Ce type de four-tunnel a un inconvénient : il est difficile d'assurer l'uniformité de la ventilation et de la température d'un étage à l'autre. On peut y sécher 2 000 m²/jour d'objets plats (portes, portières, etc.). Le principal avantage de ce four-tunnel est son encombrement réduit.

Les fours verticaux à chaînes sont constitués de conduits dans lesquels des paniers sont déplacés verticalement au moyen de chaînes. Le chargement et le déchargement des paniers, entièrement automatiques, sont effectués par des transporteurs à bande dont le mouvement est synchronisé avec celui des paniers, par des servo-commandes. Les paniers ont généralement les dimensions suivantes : 3-5 m × 1,3-1,5 m. Les paniers traversent successivement la zone de dessèchement, la zone de séchage (qui peut avoir 1, 2 ou plusieurs secteurs) et la zone de refroidissement. La contenance du four peut varier de 40-50 à 100-140 paniers, selon l'état de séchage et la production requise. On peut y sécher 2 000-2 200 m²/jour.

Les temps de séchage sont les suivants :

<i>Produit de vernissage</i>	<i>Temps pour un fini brillant (heures)</i>
Polyuréthanes	0,5-1
Polyesters	0,3-0,8
Uréiques à catalyseur acide	0,5-1
Nitrocellulosiques	0,3-0,5

Le four vertical est indiqué pour le séchage de pièces plates ou de formes régulières (cadres, tringles de rideaux, etc.).

Séchage par infrarouges

Le séchage par infrarouges peut être effectué en utilisant différentes sources. Il existe trois types de sources, caractérisées par un maximum de rayonnement dans trois zones différentes : ondes courtes, avec maximum de 0,8 à 2 m; ondes moyennes, avec maximum de 2 à 3,5 m; ondes longues, avec maximum de 3,5 à 12 m.

Le choix d'un type de source ou d'un autre a provoqué de nombreuses discussions: en fait, on peut obtenir un bon séchage avec tous les types d'infrarouges. Ce sont les ondes courtes et les ondes moyennes que l'on utilise le plus, pour des raisons de sécurité d'emploi et de commodité des installations.

En Italie, le séchage par infrarouges n'a pas eu beaucoup de succès et n'est guère utilisé que dans les fours de préchauffage des panneaux ou dans des cas nécessitant un séchage rapide (séchage des couleurs).

Il faut souligner que les fours à infrarouges doivent être bien ventilés, étant donné que les infrarouges ne servent qu'à l'évaporation des solvants. Les vapeurs doivent être évacuées par ventilation, sinon il se forme une couverture de vapeur qui empêche l'évaporation ultérieure des solvants; le séchage devient alors plus long et l'aspect final du vernis n'est pas toujours parfait.

Séchage par ultraviolets

Le séchage par ultraviolets est surtout pratiqué après l'application de la première couche de fond sur des supports très absorbants, comme les panneaux de particules et les panneaux de fibres. Il est également utilisé dans le vernissage de surfaces intérieures, où la première couche est faite avec des produits sensibles aux ultraviolets, appliqués généralement au rouleau.

Le séchage par ultraviolets perd de plus en plus de terrain, à cause de son manque de souplesse; il est en effet impossible, ou tout au moins très difficile, d'y avoir recours dans le cas de produits pigmentés.

La ventilation est très importante dans les installations à ultraviolets, tant pour éviter la formation de mélanges explosifs que pour faciliter l'affleurement de la paraffine des polyesters.

Les installations à ultraviolets sont classées en fonction de la source utilisée :

a) Installations à lampes de faible intensité. Elles ont été très utilisées pour le séchage de polyesters sensibles aux ultraviolets, appliqués à l'aide d'une vernisseuse à rideau à raison de 250-280 g/m². Les temps de séchage varient de 3 à 5 minutes. Un transporteur à bande traverse un four dont le plafond est équipé de lampes à ultraviolets, de forme analogue aux lampes fluorescentes normales. La distance entre les lampes et les pièces à sécher ne doit pas dépasser 5-8 cm et les lampes doivent être espacées d'environ 5 cm, afin de garantir un rayonnement suffisant pour un séchage total et parfait. Dans les premières installations, il arrivait souvent que le film de produit de vernissage se fende et se craquelle sur les bords des panneaux; ce phénomène a été éliminé en utilisant des lampes de plus grande largeur que le transporteur, pour que le rayonnement soit uniforme sur toute la surface. Un tunnel de ce genre doit avoir de 12 à 20 lampes par mètre;

b) Installations à lampes de forte intensité. Compactes et rapides, ces installations ont été utilisées plus particulièrement pour le séchage de produits sensibles aux ultraviolets, appliqués au rouleau. Elles ne se prêtent pas au séchage des autres types de produits de vernissage en raison des bulles qui se forment par suite d'un surchauffement des surfaces exposées aux rayonnements. Les temps de séchage sont très courts et varient de 10 à 30 secondes. Un tunnel de ce genre contient une douzaine de lampes avec une puissance totale d'environ 25 kW. Pour obtenir un rayonnement uniforme et suffisamment intense, les lampes doivent être à 7-12 cm des pièces et espacées de 25 cm au maximum. En général, les tunnels sont pourvus d'un bon système de ventilation, nécessaire surtout pour des questions de sécurité. Les tunnels sont normalement divisés en trois secteurs : dessèchement, séchage et refroidissement, tous à très forte ventilation;

c) Installations mixtes. Ces installations, qui comprennent à la fois des lampes de faible intensité et des lampes de forte intensité, donnent de meilleurs résultats. Les lampes de faible intensité servent pour la gélification et un premier durcissement; les lampes de forte intensité assurent le durcissement final. Ces installations sont moins encombrantes que celles ayant uniquement des lampes de faible intensité. Le temps de séchage est ramené à environ 2 minutes;

d) Installations à lampes de très forte intensité. Les lampes de très forte intensité sont apparues récemment sur le marché; leur puissance est d'environ 80-100 W/cm (contre 30-40 W/cm pour les lampes de forte intensité). On peut donc réduire encore les temps d'exposition, qui ne sont plus que de l'ordre

de quelques secondes (4 à 10 secondes). En outre, on a réussi à réduire la température maximale des pièces exposées, grâce à des améliorations dans la construction des lampes et des installations. Ces installations peuvent donc être utilisées comme celles à lampes de forte intensité, mais aussi pour le séchage des produits de la couche de fond et des produits de finition; le résultat est toujours excellent. Une installation de ce type contient deux ou trois lampes, selon la vitesse du transporteur et le type du produit à sécher; on a calculé que la vitesse optimale du transporteur était de 3-4 m/mn. Les installations à lampes de très forte intensité n'ont généralement pas de zone de refroidissement.

Annexe I
TRAVAUX DE FINITION

<i>Travaux</i>	<i>Quantité de produit à appliquer (g/m²)</i>	<i>Concentration</i>		<i>Conditions de séchage</i>		
		<i>%</i>	<i>Avec °C</i>	<i>Ventilation</i>	<i>Temps</i>	<i>Machine</i>
Ponçage						
Peinture						
Séchage						
Empilage						
Impression						
Séchage						
Impression						
Séchage						
Empilage						
Premier encrage						
Séchage						
Deuxième encrage						
Séchage						
Troisième encrage						
Séchage						
Empilage						
Couche de fond						
Séchage						
Refroidissement						
Empilage						
Ponçage						
Couche de fond						
Séchage						
Refroidissement						
Empilage						
Ponçage						
Empilage						
Peinture						
Séchage						
Empilage						
Assemblage						
Finition						
Séchage						
Empilage						
Assemblage						
Emballage						
NOTE	Signature					

Annexe II
QUESTIONNAIRE

Etabli par _____ Date _____
Client _____ Adresse _____

ARTICLES A VERNIR

- | | | | |
|---|---|---|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Armoires | <input type="checkbox"/> Portes ext. | <input type="checkbox"/> Meubles de radio, TV | <input type="checkbox"/> Tables |
| <input type="checkbox"/> Chambres à coucher | <input type="checkbox"/> Portes int. | <input type="checkbox"/> Panneaux à revêtir | <input type="checkbox"/> Tournés |
| <input type="checkbox"/> Coffres | <input type="checkbox"/> Entrées | <input type="checkbox"/> Panneaux teintés | _____ |
| <input type="checkbox"/> Cadres | <input type="checkbox"/> Marbres | <input type="checkbox"/> Salles de séjour | _____ |
| <input type="checkbox"/> Cuisines | <input type="checkbox"/> Chaises | <input type="checkbox"/> Instruments de musique | _____ |
| Les articles sont | <input type="checkbox"/> Modulaires | <input type="checkbox"/> Qualité normale | _____ |
| | <input type="checkbox"/> Non modulaires | <input type="checkbox"/> Qualité supérieure | _____ |

PARTIES A VERNIR

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Intérieur | <input type="checkbox"/> Chants |
| <input type="checkbox"/> Extérieur | <input type="checkbox"/> Dos |

TYPE DE VERNIS

- | |
|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Pigmenté |
| <input type="checkbox"/> Transparent |

DIMENSIONS DES ARTICLES

Epaisseur _____ Largeur _____
Longueur _____ Profondeur _____
Hauteur _____

SUPPORT

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Contre-plaqué | <input type="checkbox"/> Nid d'abeille stratifié |
| <input type="checkbox"/> Panneau de particules | <input type="checkbox"/> Bois massif |
| <input type="checkbox"/> Stratifié plastique | |
| <input type="checkbox"/> Panneau latté | |

TYPE DE SURFACE A VERNIR

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Etat brut | <input type="checkbox"/> Assemblée |
| <input type="checkbox"/> Fibres | <input type="checkbox"/> Plaquée |
| <input type="checkbox"/> Papiers | <input type="checkbox"/> Teintée |

MASTICAGE

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Pores ouverts | <input type="checkbox"/> Pores semi-ouverts |
| <input type="checkbox"/> Pores bouchés | <input type="checkbox"/> Pores semi-bouchés |

Fournisseur _____

FINI

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Très opaque | <input type="checkbox"/> Semi-poli |
| <input type="checkbox"/> Opaque | <input type="checkbox"/> Semi-brillant |
| <input type="checkbox"/> Semi-opaque | <input type="checkbox"/> Brillant |
| <input type="checkbox"/> Satiné | |

Comme notre produit _____

EXIGENCES PARTICULIERES

Le cycle doit répondre à un cahier des charges Oui
 Non
Si oui, joindre une copie du cahier des charges

NATURE DU VERNISSAGE

- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Ennoblement | <input type="checkbox"/> Transparent |
| <input type="checkbox"/> Impression | <input type="checkbox"/> Couvrant |
| | <input type="checkbox"/> Semi-couvrant |

REMARQUES _____

XVI. Fabrication industrielle de portes, fenêtres et huisseries*

La fabrication de portes et fenêtres de toutes sortes joue un rôle majeur dans l'économie des pays en voie de développement, en raison des grands programmes d'investissement qui y sont réalisés dans le secteur du bâtiment. Il est donc nécessaire de produire localement les éléments les plus importants, notamment les portes et fenêtres standards. Ces produits, qui doivent répondre à des spécifications différentes d'un pays à l'autre, doivent cependant répondre à des exigences communes : protection efficace contre les agents atmosphériques (forte humidité, brusques changements de température, poussières, etc.) et possibilité d'être réalisés de la manière la plus simple et la plus fonctionnelle possible. Les caractéristiques des produits déterminent logiquement le choix des machines nécessaires. Il faut concevoir et réaliser des modèles simples, ayant de bonnes caractéristiques mécaniques et faciles à fabriquer et à assembler. Ceci permettra de réduire les dépenses d'investissement, de limiter les frais de montage et les frais d'entretien courant.

Il est absolument nécessaire d'étudier avec soin la question de l'approvisionnement en matières premières et autres matériaux que l'on ne trouve pas toujours, malheureusement, sur le marché local. Afin de réduire au minimum les importations de matériaux et de fournitures, il faut envisager leur remplacement par des articles qui peuvent être fabriqués dans le pays ou même, si possible, par l'entreprise elle-même. On verra par la suite quels sont les matériaux que l'on peut remplacer par d'autres. De toutes façons, il est certain que les exigences de production ne pourront être pleinement satisfaites qu'en assurant un approvisionnement de matières premières et de matériaux auxiliaires ayant des caractéristiques constantes, afin de ne pas courir le risque de devoir modifier les techniques d'exécution et de créer ainsi des problèmes qui ne pourraient être résolus que par une augmentation des coûts de fabrication. Il faut encore souligner l'importance de la production journalière sur le choix de la main-d'œuvre, des machines, des installations et de l'outillage de maintenance. Il est évident qu'une production relativement faible de nombreux éléments variés exige une main-d'œuvre très qualifiée, étant donné que la bonne exécution des différents travaux dépend plus de l'habileté des ouvriers que des machines elles-mêmes. En revanche, la production en grande série n'exige une intervention manuelle que lors de certaines phases spécifiques des travaux, qui sont facilement réalisables par des ouvriers n'étant pas hautement qualifiés.

Ces conditions générales étant posées, on peut maintenant étudier les caractéristiques des différents produits, le cycle de production de chacun d'eux à l'échelle industrielle, les machines et l'outillage nécessaires pour leur fabrication. Il ne sera pas question dans ce chapitre du séchage du bois et des travaux de finition, qui sont traités dans les chapitres X et XV respectivement.

Portes intérieures

Généralités

Les portes intérieures sont constituées d'un cadre en bois massif, renforcé à la hauteur des ferrures (paumelles et serrure), qui est rempli par un panneau en carton nid d'abeille ou en bois (panneaux de

* Par E. Minarelli, expert en menuiserie. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/9/Rev.1.)

particules ou panneaux de fibres), l'ensemble cadre et remplissage étant revêtu avec du contre-plaqué, ou même des panneaux de particules ou des panneaux de fibres. Les faces de la porte peuvent être pleines ou découpées pour recevoir un vitrage; elles peuvent être revêtues d'un placage de qualité ou simplement peintes. Les chants peuvent être droits, à feuillure ou à recouvrement, selon les normes nationales. Evidemment, les moulures, cadres ou autres ornements des faces qui embellissent leur aspect ne modifient en rien la structure fondamentale de la porte. La fabrication des portes planes est très simple, à condition de respecter certaines conditions lors de la préparation des divers éléments; faute de quoi, l'assemblage des éléments posera de sérieux problèmes, notamment au stade de la finition.

Du point de vue de la finition et l'aspect extérieur des portes, leur conception restant toujours la même, on peut distinguer deux types principaux de portes.

Portes standards (première qualité)

Les matériaux sont relativement bon marché. Les faces peuvent être pleines ou vitrées. Les chants peuvent être droits, à feuillure ou à recouvrement; les feuillures sont usinées directement sur le bois du cadre. Les panneaux de revêtement, quels qu'ils soient, ne sont pas revêtus d'un placage; ils sont peints directement après les travaux de calibrage par rabotage et de ponçage. Les quincailleries sont fonctionnelles, mais de qualité moyenne.

Portes plaquées (qualité supérieure)

Les matériaux sont de bonne qualité. Les faces peuvent être pleines ou vitrées. Les chants peuvent être droits, à feuillure ou à recouvrement; les feuillures sont usinées sur le bois du cadre, puis revêtues d'un placage de qualité; les recouvrements sont réalisés par encollage de languettes de bois de qualité. Les panneaux de revêtement sont calibrés et poncés avant de recevoir un placage de qualité; les placages sont enduits d'un vernis mat, satiné ou brillant. Les quincailleries sont de qualité supérieure.

On apporte un soin particulier au placage des portes à cadres et à panneaux rapportés, afin de donner l'impression que tous ces éléments proviennent de la même essence de bois.

Dans les portes de qualité supérieure, les placages peuvent être ennoyés par impression ou par stratification de papiers mélaminés ou de matières plastiques souples ou rigides. Ce type de panneau ne sera pas examiné dans le présent chapitre, car il est actuellement très peu utilisé dans la fabrication industrielle de portes.

Cycle de fabrication

Le cycle de fabrication est à peu près le même pour les deux types de portes décrits ci-dessus; en fait, comme on le verra plus loin, la seule différence est que la fabrication des portes de qualité supérieure exige quelques machines supplémentaires.

Le cycle commence par le séchage du bois. Comme le séchage des bois débités, qui serviront à faire les cadres de portes, et le choix du matériel de séchage sont traités au chapitre X, il n'en sera pas davantage question ici.

L'opération suivant le séchage est le sciage longitudinal et transversal des planches. Pour obtenir les montants et les traverses du cadre, avec les renforts nécessaires pour les ferrures, les planches séchées doivent être découpées aux dimensions voulues. Pour accélérer le rythme de production journalière, surtout dans les usines fabriquant des portes en très grandes séries, il est conseillé d'adopter la séquence de travail suivante :

- a) Sciage des planches en bout, à l'aide d'une tronçonneuse à mouvement pendulaire;
- b) Sciage transversal des planches, avec une tronçonneuse analogue à la précédente, pour obtenir des liteaux de bois de longueur correspondant aux montants, aux traverses et au renfort pour les ferrures. Chaque liteau doit être scié en laissant une certaine surépaisseur de bois pour les travaux ultérieurs de coupe d'équerre et de dressage;
- c) Subdivision des planches ainsi obtenues, à l'aide d'une scie à refendre.

Il arrive très souvent que de nombreuses planches gauchissent pendant le séchage; il est alors impossible de les scier directement avec la tronçonneuse et la scie à refendre. Pour éviter d'avoir des

rejets coûteux, il est bon de compléter cette section de sciage avec une dégauchisseuse, une raboteuse et une scie à ruban.

Etant donné le niveau élevé de production que l'on peut généralement atteindre dans cette phase du cycle de fabrication et compte tenu du risque de déformation des liteaux, on a tout intérêt à installer un stockage temporaire entre cette phase et la suivante, sa capacité correspondant à au moins 2 jours de travail. Ce stockage permettra, non seulement de mieux équilibrer les divers ateliers de fabrication, mais aussi de laisser reposer le bois pour éliminer les tensions internes.

L'opération suivante est le montage du cadre, c'est-à-dire l'assemblage des montants, traverses et renforts pour les ferrures. Il existe plusieurs méthodes d'assemblage, mais la plus utilisée consiste à utiliser des machines à agrafes, à commande manuelle ou automatique, qui assemblent les divers éléments au moyen d'agrafes en acier ou en aluminium. Les éléments du cadre sont disposés sur des tables de composition à gabarit, ou bien simplement posés l'un contre l'autre; dans ce cas, la précision du travail dépend de l'habileté des ouvriers. Il arrive souvent que les montants et les traverses aient subi un gauchissement; pour assurer la bonne géométrie du cadre, il faut installer une scie à ruban ou une scie circulaire, selon les exigences de production, qui permettra d'effectuer de petites entailles pour supprimer les conséquences fâcheuses du gauchissement.

Il faut ensuite préparer les panneaux de revêtement, c'est-à-dire les panneaux de contre-plaqué, de particules ou de fibres, qui constitueront les faces de la porte après le pressage. Si l'on veut que l'usine ait la souplesse nécessaire pour fabriquer des portes de différentes dimensions, il est déconseillé de s'approvisionner en panneaux déjà découpés aux dimensions voulues, d'autant plus que cela entraînerait des frais plus élevés de gestion des magasins de stockage. La solution idéale est de disposer d'un stockage de panneaux de dimensions standards et d'y prélever chaque jour la quantité de panneaux nécessaire à la production requise.

L'atelier de préparation des panneaux de revêtement doit être équipé comme suit :

- a) Un chariot élévateur à fourche, qui prélèvera les panneaux dans le magasin de stockage et les transportera sur une table élévatrice devant la scie à panneaux;
- b) Une scie à panneaux, dont la capacité de coupe doit être adaptée aux dimensions des panneaux;
- c) Une défonceuse, pour découper dans les panneaux les ouvertures destinées à recevoir un vitrage;
- d) Un poste de stockage provisoire entre l'atelier de préparation des panneaux et l'atelier de pressage; on y gardera, en attente de pressage, tous les panneaux de revêtement découpés, ainsi que les portions de panneaux provenant de la défonceuse.

Il faut également préparer les panneaux de remplissage du cadre. Comme on l'a déjà vu, le remplissage peut être fait avec du carton nid d'abeille, des lattes de bois, du contre-plaqué ou des panneaux de fibres; dans la pratique industrielle moderne, on donne la préférence au carton nid d'abeille, en raison de son coût relativement bas, de sa plus grande souplesse d'adaptation et du fait qu'on le trouve facilement sur tous les marchés. La section de préparation du remplissage en carton nid d'abeille n'a besoin que d'une scie à ruban pour découper le carton aux dimensions voulues; en effet, le carton nid d'abeille s'adapte facilement à tous les profils géométriques et peut être écrasé, dans une certaine mesure, pour compenser d'éventuelles petites différences d'épaisseur des panneaux de revêtement ou du cadre lui-même.

La préparation des placages est une phase du cycle de fabrication qui ne concerne que les portes de qualité supérieure. Elle implique :

- a) L'installation dans l'usine d'un magasin de stockage des placages, dans certaines conditions de température et d'humidité; en effet, il faut éviter des variations de température et d'humidité qui pourraient entraîner une déshydratation excessive des placages, qui nuirait à leur qualité;
- b) L'installation d'un massicot à placages, qui permettra de les découper en bandes qui pourront être ensuite juxtaposées de manière que les panneaux semblent être constitués d'une seule planche de bois homogène, avec toutes les veines disposées de façon naturelle;
- c) L'installation d'une machine à jointer les bandes de placage préalablement découpées, aussi bien longitudinalement que transversalement;
- d) Un banc de contrôle, avec une surface en verre dépoli et éclairé, pour vérifier la bonne qualité des jointages.

On dispose maintenant de tous les éléments permettant de fabriquer un vantail de porte : cadre avec renforts pour ferrures, remplissage (en carton nid d'abeille), panneaux de revêtement et placages. Tous ces éléments seront assemblés par pressage à chaud. Cette phase des opérations se déroule de la façon suivante :

- a) Prélèvement des panneaux de revêtement au lieu de stockage, où ils ont été empilés en alternant les recto et les verso;
- b) Transport de deux panneaux simultanément à l'encolleuse à rouleaux, pour l'application de colles uréiques sur deux faces des panneaux, puis déchargement des panneaux encollés sur un transporteur le long de la ligne de pressage;
- c) Prélèvement d'un panneau sur ce transporteur et positionnement sur le banc de composition;
- d) Prélèvement du cadre au stockage avoisinant et positionnement sur le panneau encollé déjà placé sur le banc de composition;
- e) Prélèvement du panneau de remplissage à son stockage et introduction dans le cadre déjà placé sur le banc de composition, au-dessus du premier panneau encollé; assemblage du remplissage et du cadre au moyen d'agrafes;
- f) Prélèvement du second panneau de revêtement, qui était resté sur le transporteur, et positionnement sur l'ensemble déjà réalisé;
- g) Chargement du tout dans la presse à plateaux chauffants; en même temps, début d'une deuxième séquence d'assemblage selon la même procédure;
- h) Déchargement, après pressage, du vantail de porte; stockage pendant le temps nécessaire pour garantir un refroidissement parfait et un état d'équilibre avec l'humidité ambiante.

Le calibrage fait suite au pressage. Tous les vantaux, qu'il s'agisse de portes ordinaires ou de portes de qualité supérieure, doivent être rabotés et poncés, afin d'être d'épaisseur uniforme et parfaitement lisses, dans les limites de tolérance permises. A cette fin, chaque vantail passe dans une ponceuse à bande large, qui peut être du type à deux bandes, supérieure et inférieure, ou du type à une seule bande abrasive supérieure; dans le deuxième cas, le vantail doit être retourné, puis repassé sous la ponceuse. Il faut ensuite s'assurer du degré de finition et de l'absence de toute marque laissée par l'opération de ponçage. Ensuite, tous les vantaux de portes ordinaires sont stockés avant d'être envoyés vers les machines qui effectueront les coupes d'équerre et, éventuellement, les feuillures. Les vantaux de portes de qualité supérieure sont stockés, dans un magasin différent, en vue de l'opération de placage. Près du poste de contrôle du calibrage, il est bon d'installer un poste de correction de tous les défauts éventuels, afin de réduire les rejets au minimum; ce poste est équipé d'un établi avec mastic, spatules, couteaux à mastiquer, colles, fers à repasser, et d'une ponceuse à bande.

L'opération suivante, pour les portes de qualité supérieure, est le placage et la stratification. Pour les productions en petites séries, on peut éviter de créer un nouvel atelier et utiliser l'atelier de pressage, par contre, pour les productions en grandes séries, il est préférable d'installer un atelier spécialisé, en aval de l'atelier de ponçage. Le placage après ponçage se déroule de la façon suivante :

- a) Aménagement du vantail à l'encolleuse à rouleaux pour l'application de colle uréique sur les deux faces, puis déchargement sur un transporteur conçu de manière à minimiser les contacts du bois avant la mise sous presse;
- b) Prélèvement de la première feuille de placage au magasin de stockage en pont et positionnement sur le banc de composition;
- c) Positionnement du vantail encollé sur cette feuille de placage;
- d) Prélèvement de la seconde feuille de placage au magasin et positionnement sur le vantail encollé;
- e) Introduction de l'ensemble dans la presse chaude; début de la même séquence de travail pour le vantail suivant;
- f) Déchargement du vantail après placage; stockage pour stabilisation à l'air ambiant et refroidissement.

Après le pressage, le cycle de travail comporte la coupe d'équerre et le placage des chants. Tout d'abord, il faut supprimer toutes les protubérances qui ont pu se former lors du pressage; on dispose pour cela de déligneuses simples ou doubles, qui n'exigent pas des opérateurs hautement qualifiés. Pour les portes ordinaires, il faut seulement dresser les chants et façonner les feuillures; l'installation comporte :

- a) Une scie à deux outils mobiles, pour dresser les chants et découper la feuillure le long des montants;
- b) Une machine de retournement, pour présenter les côtés transversaux à la machine suivante;
- c) Une scie à deux outils mobiles, pour dresser les chants et découper la feuillure le long des montants.

Après ces opérations, les portes de qualité supérieure doivent recevoir un placage sur chant le long des montants. Pour ce type de porte, l'atelier doit comprendre les machines suivantes :

- a) Une scie à deux outils mobiles, pour dresser les chants et découper la feuillure le long des montants;
- b) Un transporteur entre cette machine et la machine à plaquer les chants;
- c) Une machine à plaquer les chants, pour le placage simultané des deux montants et l'usinage des feuillures; on peut également utiliser une machine, spécialement conçue, qui permet le placage des chants après usinage des feuillures;
- d) Une machine de retournement pour alimenter la machine suivante;
- e) Une scie à deux outils mobiles pour dresser les chants le long des traverses.

Les portes de qualité supérieure à recouvrement rapporté sont usinées de la même manière que les autres, à la seule différence que les recouvrements rapportés sont collés sur les bords du vantail par des presses spéciales, après les opérations de dressage et de finition.

Les ouvertures en vue de la pose d'un vitrage ont été découpées grossièrement; il faut maintenant corriger les irrégularités géométriques éventuelles, de manière que les vitrages soient correctement centrés. Ce travail de centrage des ouvertures doit être effectué à l'aide d'une défonceuse automatique, qui peut être du type à copier avec gabarit ou du type à commande numérique.

Les travaux de ponçage et de finition étant traités de manière détaillée dans un autre chapitre¹, on se contentera de décrire ici la séquence de travail :

- a) Ponçage des chants et des faces;
- b) Teinture des chants et des faces;
- c) Séchage de la teinture;
- d) Ponçage des chants et des faces après teinture;
- e) Application de la couche de fond de produit de vernissage sur les chants et les faces;
- f) Séchage de la couche de fond;
- g) Application de la couche de finition, transparente ou pigmentée, sur les chants et les faces;
- h) Séchage de la couche de finition.

La porte est maintenant pratiquement terminée; il ne reste plus qu'à monter ou appliquer les quincailleries, les moulures et, éventuellement, les panneaux à encadrer. Toutes ces opérations peuvent être effectuées dans un seul poste ou séparément. Si l'on choisit la solution d'un seul poste, il faut y stocker tous les accessoires nécessaires aux divers travaux; si l'on choisit la seconde solution, les accessoires doivent être stockés auprès de chaque machine. Le poste unique exige sans aucun doute plus d'attention du fait d'un certain manque de souplesse des travaux, mais il présente de nombreux avantages : réduction sensible de la manutention et des divers magasins de stockage, diminution de la main-d'œuvre et de l'encadrement, enfin et surtout meilleure qualité du produit fini. Quelle que soit la solution choisie, la séquence des travaux reste la même.

- a) Découpage du logement de la serrure et des trous de poignée, sur mortaiseuse pour serrure;
- b) Montage des paumelles, avec une machine spéciale.

Ces deux opérations peuvent être effectuées simultanément si l'on dispose d'une machine combinée automatique : machine à percer et à poser les paumelles — mortaiseuse pour serrure; les travaux continuent ainsi :

- c) Montage de la serrure;
- d) Montage des petits-bois ou panneaux à encadrer;

¹ Pour de plus amples détails sur le ponçage et la finition, voir le chapitre XVIII.

e) Emballage, avec feuilles thermorétractables ou avec carton ondulé; la seconde solution est préférable, car elle assure une meilleure protection contre les chocs et pendant l'empilage, alors que la première exige l'installation de machines très coûteuses.

Portes extérieures

Généralités

Les portes extérieures se différencient des portes intérieures par le besoin de répondre à des exigences totalement différentes. Certes, les deux types de porte doivent être facilement manœuvrables, permettre le passage des personnes et des objets, ainsi que le passage contrôlé de l'air, mais les portes extérieures doivent aussi protéger la maison contre les agents extérieurs : elles doivent empêcher la pénétration de l'eau, être résistantes aux agents atmosphériques et posséder certaines caractéristiques de résistance à l'effraction. En conséquence, la porte extérieure doit être plus solide et plus robuste que la porte intérieure, tout en restant facilement manœuvrable.

Il existe deux types de portes extérieures :

- a) La porte à double renforcement, dont la face intérieure est analogue à une porte intérieure;
- b) La porte dont la face extérieure est faite de panneaux embrevés en bois massif et la face intérieure est recouverte de contre-plaqué.

Cycle de fabrication

Le cycle de fabrication de la face intérieure de la porte à double renforcement étant analogue à celui de la porte intérieure décrite plus haut, on ne décrira ici que les opérations qui concernent exclusivement les portes extérieures, en indiquant éventuellement les phases complémentaires du cycle de fabrication.

Les travaux de séchage du bois, de tronçonnage et de sciage en long sont les mêmes que dans la fabrication des portes intérieures.

On procède ensuite au sciage transversal, à l'aide d'une tronçonneuse, puis au sciage longitudinal, à l'aide d'une scie multilames, des planches aux dimensions voulues pour obtenir les larmiers, les lattes pour les cadres, les montants et les traverses.

La phase suivante est le tri des éléments ainsi obtenus; ce tri est nécessaire avant tout autre usinage. Les nœuds, déformations et autres défauts qui pourraient nuire à l'esthétique et à la bonne qualité des portes doivent être éliminés ou corrigés à l'aide de machines telles que la bouchonneuse, qui enlèveront les parties défectueuses et les remplaceront par des pièces sans défauts du même bois. Pour les opérations suivantes, depuis le dressage des chants jusqu'au tenonnage, la meilleure solution consiste à installer une chaîne qui comprendra notamment une machine à moulurer sur quatre faces, un dispositif de transfert à 90° et une tenonneuse double automatique. Une telle chaîne garantit la qualité du produit fini, tout en permettant une économie considérable de main-d'œuvre. Les travaux sont effectués comme suit :

- a) Dressage des chants et rectification des surfaces sur la dégauchisseuse et la raboteuse;
- b) Exécution des feuillures, entures, rainures et languettes, selon le type voulu d'assemblage des cadres et panneaux;
- c) Réalisation du profil interne, par usinage des montants et des traverses à la toupie;
- d) Sciage en bout et tenonnage, à l'aide d'une machine à fraiser, de tous les montants et traverses;
- e) Usinage des larmiers à la toupie.

La préparation de la face intérieure implique les mêmes travaux que le montage d'une porte intérieure.

La préparation de la face extérieure comporte l'assemblage des divers éléments par collage et pressage dans des presses à cadres. Un temps de repos est alors nécessaire pour permettre la stabilisation de la colle.

L'opération suivante est le calibrage des panneaux au moyen d'une ponceuse à bande étroite ou à bande large, selon les besoins. L'application du panneau extérieur sur le panneau intérieur est généralement effectuée au moyen d'une presse à froid, afin d'éviter une déformation des deux éléments. Cette opération comporte les travaux suivants :

- a) Encollage de la face interne du panneau intérieur, soit à la main, soit avec une encolleuse à rouleaux;
- b) Application du panneau intérieur encollé sur le panneau extérieur, placé sur la table de chargement de la presse;
- c) Chargement de l'ensemble dans la presse à plateaux froids. La presse peut être à un seul étage ou à plusieurs étages, selon les besoins de production. Après le pressage, les portes sont stockées pour permettre un séchage complet de la colle.

Pour les portes à panneaux encadrés ou à faces intérieures en contre-plaqué, l'assemblage final peut être fait après le tenonnage. L'assemblage est fait à l'aide d'une presse à cadres horizontale, à commande manuelle ou pneumatique; les divers éléments sont encollés au moyen de pistolets ou d'encolleuses à brosses. On suppose que tous les éléments : montants, traverses, lattes et panneaux ont été déposés près de la presse à cadres, à la suite des phases de travail précédentes. Après encollage, les divers éléments sont disposés sur le plateau de la presse, puis les mâchoires sont fermées. Après quelques minutes de pressage, on peut ouvrir les mâchoires et décharger la porte. On la laisse alors au repos pendant le temps nécessaire pour un séchage complet de la colle.

Le calibrage se fait de la même manière que pour les portes intérieures.

Pour les deux types de portes extérieures, la coupe d'équerre et l'usinage des feuillures se font comme dans le cas des portes intérieures. En équipant d'un porte-outil spécial la scie pour coupe d'équerre, on peut usiner en même temps la rainure pour le montage du larmier.

Les travaux de ponçage et de finition des faces et des chants, ainsi que les travaux de montage des quincailleries et accessoires sont les mêmes que pour les portes intérieures.

Fenêtres, portes-fenêtres et persiennes

Généralités

Les fenêtres et portes-fenêtres sont généralement constituées de la manière suivante :

- a) Un châssis fixe ou dormant, solidement relié au mur, sur lequel est articulé un châssis mobile;
- b) Un châssis mobile, à un ou deux battants, articulé sur le châssis fixe et permettant le passage de l'air, de la lumière, des personnes, des objets (portes-fenêtres);
- c) Les pièces d'articulation du châssis mobile (paumelles, charnières, supports coulissants, etc.);
- d) Un dispositif de blocage du châssis mobile en position fermée (poignée, crémones, verrous, etc.);
- e) Un dispositif empêchant complètement ou partiellement le passage de la lumière (persiennes, volets, stores déroulables, etc.); il sert aussi à protéger contre les agents extérieurs et à augmenter l'isolation thermique.

On distingue trois types de fenêtres, selon le mouvement du châssis mobile. Dans le premier type, le châssis mobile pivote, verticalement ou horizontalement, en décrivant un cylindre. Dans le deuxième type, le châssis mobile coulisse le long d'un plan vertical ou horizontal. Dans le troisième type, un élément du châssis mobile coulisse le long d'un plan, alors que les autres éléments pivotent et décrivent un cylindre; c'est le cas des fenêtres à vasistas, à contrepoids, en accordéon, etc.

On ne traitera ici que des fenêtres du premier type, étant donné que leur cycle de fabrication peut être considéré comme commun à tous les types de fenêtres.

Cycle de fabrication

Du fait des grandes similitudes des cycles de fabrication des fenêtres, portes-fenêtres et persiennes, les trois seront traités en même temps.

Le séchage du bois étant exposé au chapitre X, il n'en sera pas davantage question ici.

La première phase des opérations est le sciage transversal et longitudinal des planches. Les planches séchées sont apportées du stockage, puis sciées aux longueurs voulues au moyen d'une tronçonneuse pendulaire ou circulaire; les planches tronçonnées passent ensuite à la scie à refendre, monolame ou multilames, qui est pourvue d'un dispositif de retour des pièces de dimensions supérieures à la capacité de coupe de la scie. Les défauts, notamment les nœuds, sont éliminés à l'aide d'une bouchonneuse.

L'exécution des profils, tenons et mortaises exige des machines appropriées : toupies, tenonneuses et mortaiseuses. Ces opérations peuvent être réalisées sur une chaîne automatique comprenant une moulurière, avec transfert à 90°, et une tenonneuse double automatique. On peut ainsi réduire considérablement la main-d'œuvre et la surface au sol. Les opérations suivantes sont le chanfreinage des extrémités des lattes des persiennes à la machine à chanfreiner et le tronçonnage des couvre-crémone et des larmiers à la tronçonneuse double, avec possibilité d'exécuter des onglets sur les larmiers.

Les mortaises sur les montants du châssis mobile des portes-fenêtres nécessitent une mortaiseuse pneumatique ou à crémaillère.

Le montage des gonds ou paumelles est fait à l'aide d'une machine automatique. Cette opération doit être effectuée avant l'assemblage des éléments du châssis fixe, sinon on risque de se heurter à de sérieux problèmes d'accès et de maniabilité, surtout dans le cas de fenêtres à plusieurs vantaux où le châssis fixe est très encombrant.

L'opération suivante est la composition des châssis; elle se déroule de la façon suivante :

- a) Encollage des tenons et des mortaises du châssis fixe et du châssis mobile, à l'aide de pistolets ou de broches, ou bien à l'aide d'une encolleuse automatique à broches;
- b) Positionnement des montants et des traverses sur la presse à cadres, à commande manuelle ou hydraulique; fermeture de la presse;
- c) Ouverture de la presse, déchargement du châssis assemblé et stockage provisoire jusqu'au séchage complet de la colle.

Pour les persiennes, la même opération se déroule comme suit :

- a) Encollage des tenons et des mortaises, comme ci-dessus;
- b) Positionnement des montants, des traverses et des lattes constituant la persienne sur la presse horizontale spéciale; fermeture de la presse;
- c) Ouverture de la presse, etc., comme ci-dessus.

Le calibrage ne concerne que les châssis mobiles; il est fait à l'aide de ponceuses à bande étroite, à la main ou automatiques. Pour les productions en grandes séries, on travaille avec deux ponceuses automatiques à bande large, reliées par un dispositif de retournement et suivies d'un poste de contrôle. Une autre solution consiste à installer une seule ponceuse automatique à deux bandes larges, suivie d'un poste de contrôle.

Les opérations de coupe d'équerre et d'usinage des battants ne concernent évidemment que les châssis mobiles. Il existe des machines qui peuvent faire en une seule passe les feuillures pour le logement des vitres, pour les crémones et pour les larmiers, ainsi que pour les verrous sur les portes-fenêtres. Pour les petites séries, une seule machine suffit : le châssis y passe deux fois, dans le sens longitudinal, puis dans le sens transversal. Pour les grandes séries, il est conseillé d'installer en série une scie circulaire double pour coupe d'équerre, un dispositif de retournement et une seconde scie anaiogue à la première. La séquence de travail est alors la suivante :

- a) Coupe d'équerre, façonnage du battant et usinage des entures (pour la crémonne et le verrou) sur le montant du châssis. Ces travaux sont faits, en une seule passe, sur une scie circulaire double spécialement équipée. Pour les persiennes, les seules opérations sont la coupe d'équerre et le façonnage du battant;
- b) Rotation du châssis de 90°, au moyen d'un dispositif automatique, et aménagement à la deuxième machine;
- c) Coupe d'équerre, usinage du battant, exécution des feuillures et entures sur la deuxième scie circulaire double spécialement équipée. Pour les persiennes, l'opération se limite à la coupe d'équerre et à l'usinage du battant;
- d) Stockage provisoire.

L'opération suivante est le premier assemblage, qui consiste à monter les larmiers, crémones, couvre-crémones et butées extérieures (éventuellement). Ces travaux sont généralement effectués à la main, à l'aide de machines portatives, électriques ou pneumatiques, pour clouer, visser, percer, etc., sur des établis appropriés.

Il ne sera pas question ici de la finition des faces et des chants, puisque cette question est traitée au chapitre XV.

Le montage des quincailleries peut être fait sur des machines séparées ou sur une chaîne spéciale dont le nombre de postes de travail est en fonction de la production de l'usine. La séquence de travail est la suivante :

a) Perçage des trous d'écoulement de l'eau sur le châssis fixe, au moyen d'une perceuse portative électrique ou pneumatique;

b) Montage de la bague de blocage des crémones sur le châssis, au moyen d'une machine fixe ou de machines portatives, selon le type de blocage;

c) Montage des paumelles sur le châssis mobile, au moyen d'une machine automatique spéciale ou d'une machine à mortaiser et à fixer les paumelles, selon le type de pièces métalliques utilisées; par exemple, le type de paumelles généralement monté sur les portes-fenêtres exige l'emploi de la mortaiseuse à commande semi-automatique ou entièrement automatique;

d) Montage des serrures et verrous sur le châssis mobile des portes-fenêtres, à la main ou au moyen d'outils portatifs;

e) Montage, éventuellement, des joints sur le châssis fixe et le châssis mobile des fenêtres et des portes-fenêtres;

f) Essai des divers dispositifs d'articulation et de blocage, pour s'assurer du parfait accouplement entre le châssis fixe et le châssis mobile;

g) Emballage de l'article fini. Les poignées et accessoires protubérants ne sont pas montés, afin de faciliter l'emballage; ils sont joints à l'article auquel ils sont destinés, pour montage sur place. L'emballage des fenêtres et portes-fenêtres n'est pas toujours nécessaire; s'il l'est, il vaut mieux utiliser du carton ondulé, pour les raisons déjà exposées au sujet des portes.

Mouures

Généralités

Dans la fabrication des portes et des fenêtres, les mouures peuvent être à la fois un élément d'ornementation et un élément fonctionnel. En général, elles sont faites avec des bois exotiques sélectionnés, tels que le noyer du Gabon, l'acajou, le ramin, etc., parce que ces bois ont un bel aspect et peuvent être facilement travaillés à la machine.

Cycle de fabrication

Etant donné que les divers types de mouures peuvent être réalisés sur des machines ayant des caractéristiques analogues, il est inutile d'entrer ici dans le détail du fonctionnement de ces machines. On n'entrera pas non plus dans le détail des opérations préliminaires qui ont déjà été décrites au sujet des portes et des fenêtres : séchage du bois, sciage transversal et longitudinal, etc.

Les opérations de moulurage et de découpage aux dimensions voulues se déroulent comme suit :

a) Réalisation des profils à la toupie monobroche (production en petites séries) ou sur une machine à moulurer sur quatre faces (production en grandes séries);

b) Exécution des tenons en bout des montants et traverses à la toupie (petites séries) ou à la tenonneuse double automatique (grandes séries);

c) Découpage des mouures et des petits-bois à la machine à trancher simple ou double.

Pour les opérations de ponçage et de finition, le lecteur voudra bien se reporter au chapitre XV.

Les travaux de montage ne concernent que les cadres décoratifs et les petits-bois, étant donné que les couvre-joints et les plinthes sont généralement vendus séparément pour que les utilisateurs les découpent

aux dimensions voulues. Les cadres décoratifs et les petits-bois sont assemblés et appliqués au moyen de machines portatives à clouer, à commande pneumatique, ou bien sont collés. Pour les huisseries, dont les poteaux et le linteau sont généralement modulaires, les travaux de montage se déroulent comme suit :

a) Montage de la paumelle sur le poteau devant soutenir la porte, au moyen d'une machine automatique à percer et à appliquer les charnières;

b) Découpage du logement de la plaque de butée sur le poteau opposé au précédent, au moyen d'une mortaiseuse pour serrure, puis fixation de la plaque de butée avec des vis;

c) Perçage des trous de chevilles, pour l'assemblage des poteaux et du linteau, à la machine ou à la main sur établi.

Les produits finis sont emballés dans du carton ondulé.

Conclusions

Le choix des machines et leur utilisation en fonction de la production requise influent considérablement sur la structure des coûts et l'efficacité d'une entreprise. En d'autres termes, quand une entreprise envisage de produire une quantité donnée d'articles en faisant travailler ses machines de manière constante, l'utilisation optimale d'une unité de fabrication sera sa capacité nominale. Ceci signifie que chaque machine doit être choisie avec soin, de façon à répondre exactement aux prévisions pour l'ensemble des opérations. A titre d'exemple, on prendra le cas d'une unité de fabrication de portes, fenêtres et moulures; cette unité comprendra des machines diverses, dont certaines seront automatisées. L'unité choisie ne peut être justifiée économiquement que si la production annuelle envisagée est inférieure à 40 000 articles; si ce chiffre doit être dépassé, la direction de l'entreprise devra analyser les facteurs positifs et négatifs qui justifieraient l'achat de machines plus sophistiquées, afin d'éviter des goulots d'étranglement dans la chaîne de fabrication.

Etant donné que les plans établis doivent être scrupuleusement respectés lors des premiers stades de la création d'une usine, l'entreprise doit analyser tous les facteurs en jeu : approvisionnement en énergie et en eau, main-d'œuvre locale (qualifiée et non qualifiée), matières premières, communications et moyens de transport. Le dernier facteur est particulièrement important quand on envisage l'exportation d'une partie de la production. En résumé, la planification doit être faite de façon que l'entreprise soit viable; il ne faut pas oublier que les objectifs initiaux de production peuvent être modifiés — en augmentation, il faut l'espérer — assez rapidement.

XVII. Fabrication de chaises et articles similaires en bois massif*

Ce chapitre traite de la fabrication des chaises, depuis l'usinage des éléments jusqu'au vernissage. On y compare les machines simples et les machines combinées, ainsi que les divers procédés de vernissage. Enfin, on propose un choix de machines et d'outillage pour une fabrique de chaises employant une cinquantaine de personnes.

L'industrie du meuble utilise une grande variété de matières premières, dont chacune pose des problèmes différents de technologie et de production. Cependant, on peut établir une distinction entre le travail du bois massif et celui des matériaux de remplacement, tels que les panneaux. Les machines et l'outillage nécessaires pour la fabrication de chaises ne diffèrent guère des machines et outillage utilisés dans d'autres secteurs du travail du bois; c'est pourquoi certaines questions ne seront pas traitées de façon explicite.

Considérations sur la fabrication de chaises en Italie

La fabrication de chaises constitue un secteur industriel important dans le nord-est de l'Italie, plus précisément dans la région du Frioul-Vénétie Julienne. Quelque 650 entreprises emploient environ 12 000 personnes et ont un chiffre d'affaires annuel de 200 milliards de lire¹, dont une bonne part est assurée par l'exportation. Toutes ces entreprises sont concentrées sur une superficie d'environ 300 km², les principaux centres étant Manzano, San Giovanni al Natisone et Corno di Rosazzo. Ces entreprises, dont les premières ont été créées vers la fin du siècle dernier, se consacrent presque exclusivement à un type d'industrie dit de « technologie légère » en raison du faible rapport investissement/main-d'œuvre et de la spécialisation très poussée dans chaque phase de travail, qui est caractéristique de la région.

Si l'on étudie la relation entre la production et le marché (lequel englobe à la fois la vente et la sous-traitance), on constate qu'il existe trois solutions possibles :

- a) Les modèles sont normalisés et la production est stable pendant de longues périodes; la production est destinée à être stockée, le niveau qualitatif est bas, la concurrence entre les entreprises ne se manifeste que dans les prix;
- b) Les modèles sont assez différenciés, mais assez constants dans le temps; le caractère sériel est notable (mêmes modèles pour plusieurs clients), la concurrence entre les entreprises se manifeste à la fois sur la qualité et sur les prix;
- c) Les produits sont très différenciés quant aux modèles et aux espèces de bois utilisés; le caractère sériel est limité, car la fabrication n'est entreprise que sur commande, la concurrence se manifeste dans la qualité des produits et dans les services fournis.

Dans le cas *a*, on peut créer des lignes de fabrication hautement automatisées et productives en utilisant des machines spécialisées; dans le cas *b*, on peut faire de même, mais de façon plus limitée,

* Par A. Speranza, directeur du CATAS, San Giovanni al Natisone (UD), Centre régional d'assistance technique pour la fabrication de chaises et meubles en bois, organisme relevant de la Chambre de commerce d'Udine. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/2/Rev.1.)

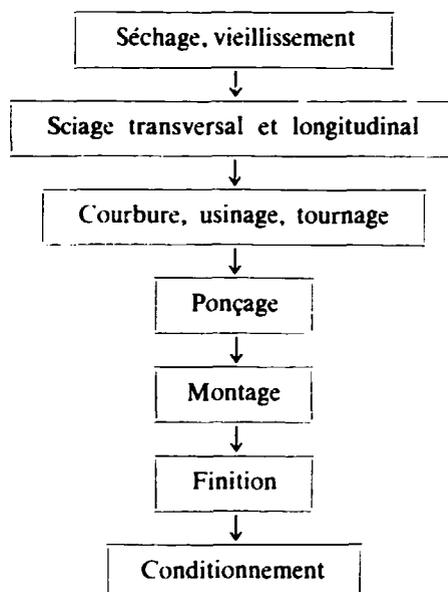
¹ Chiffre communiqué en avril 1978.

car les modèles ont certes des affinités techniques, mais leur caractère sériel est plus limité; dans le cas c, qui est d'ailleurs le plus fréquent dans la conjoncture du marché actuel, il est impossible d'appliquer des solutions techniques communes à plusieurs modèles et il faut donc posséder des machines qui soient le plus souple possible.

Cycle théorique de fabrication

On considérera le cas d'une fabrique de chaises intégrée, c'est-à-dire d'une entreprise qui reçoit du bois en planches et livre des produits finis et emballés. On ne traitera pas de deux opérations : la courbure du bois massif à la vapeur et le capitonnage, car toutes deux sont très spécifiques et faites par des entreprises spécialisées. Le choix des machines sera fondé essentiellement sur leur souplesse d'utilisation, car c'est cette caractéristique qui distingue ce type d'entreprise, qui reste toujours une sous-traitante de l'industrie du meuble. Dans le travail du bois massif, le rôle prédominant est tenu par des machines assez peu sophistiquées, où l'intervention humaine est encore importante, et que l'on peut facilement adapter aux diverses opérations exigées par des modèles qui changent rapidement.

Le cycle de travail indiqué ci-après est valable pour presque tous les types de chaises et utilisable dans la fabrication d'autres articles en bois massif.



Le séchage artificiel peut être effectué aussi bien sur les planches que sur des éléments semi-ouvrés. Les travaux sur machines sont divisés en trois parties, car la courbure et le tournage exigent des outillages particuliers et sont souvent effectués par des entreprises spécialisées. La finition englobe toutes les opérations ayant pour finalité l'aspect esthétique du produit et sa protection contre des agents physiques, chimiques et mécaniques.

Colles

Les assemblages collés ont de nombreux avantages sur les assemblages mécaniques : meilleure esthétique, distribution plus uniforme des charges et plus grande résistance dans le temps. Actuellement, les colles les plus utilisées sont à base de résines synthétiques, car elles ont de meilleures caractéristiques de résistance et sont faciles à appliquer. La colle la plus courante est à base d'acétate de polyvinyle (APV); elle est très pratique, facile à appliquer et résistante; elle présente cependant quelques inconvénients : lors de l'encollage, le bois et le milieu ambiant ne doivent pas être à une température inférieure à 10 °C; l'humidité du bois ne doit pas dépasser 15-16 %; cette colle ne résiste guère à l'eau.

Teintures et vernis

Ces deux questions sont traitées de manière détaillée au chapitre XV. on n'en donnera donc ici qu'un aperçu rapide. Les teintures les plus utilisées sont solubles dans l'eau ou aux solvants organiques. On emploie aussi des solutions aqueuses particulières, dites « imprégnantes », qui ont l'avantage de constituer une couche de fond pour le vernissage ultérieur. Comme produit de vernissage, on utilise généralement, par ordre d'importance : les vernis polyuréthanes, les vernis nitrocellulosiques et les vernis à catalyseur acide. Seul le deuxième est à un seul composant et sèche par simple évaporation du solvant.

Autres matériaux

Les autres matériaux utilisés dans le travail du bois sont les bandes et papiers abrasifs pour le ponçage du bois brut et du bois vernis, les pièces métalliques pour les jointures mécaniques, les tissus et autres matériaux de capitonnage, les papiers et cartons d'emballage.

Cycle de fabrication

Séchage

Le séchage peut être effectué naturellement, sur le chantier à bois, ou artificiellement à l'aide d'un équipement qui permet de contrôler et d'accélérer le processus de déshumidification. Cette opération peut être faite aussi bien sur le bois en planches que sur les produits semi-ouvrés, avant leur usinage final. Il existe actuellement trois procédés de séchage artificiel : le procédé classique à air chaud, le procédé sous vide et le procédé diélectrique. Les avantages et inconvénients de chaque procédé sont exposés au chapitre X. Il convient de souligner ici que le séchage sous vide a connu un grand succès dans le secteur de la fabrication des chaises, notamment pour certaines essences de bois et certains articles semi-ouvrés, en raison de la simplicité et de la grande rapidité de ce procédé.

Sciage transversal et longitudinal

Les planches de bois séchées doivent être transformées en éléments de chaise semi-ouvrés : pieds, montants, dossier, accoudoirs, etc. Dans un premier temps, les planches sont sciées transversalement aux longueurs voulues; dans un deuxième temps, elles sont sciées longitudinalement, c'est-à-dire refendues, en éléments qui seront usinés ultérieurement. La coupe transversale, ou tronçonnage, est généralement exécutée à l'aide de scies circulaires à mouvement parallèle, à commande manuelle ou pneumatique. La solution de remplacement la plus simple est évidemment la scie à main; mais on utilise très souvent une scie à ruban normale, qui permet également le sciage en grosses pièces carrées ou en éléments façonnés. Cette machine est indispensable dans une entreprise qui travaille le bois massif; elle offre une très grande souplesse d'utilisation, mais son rendement dépend beaucoup de l'expérience de l'opérateur. Il existe une solution plus rentable, mais ne permettant que des coupes parallèles : la scie circulaire multilames, qui comporte plusieurs lames circulaires disposées sur le même arbre à des distances préétablies. Elle permet d'obtenir en même temps plusieurs grosses pièces à section carrée, en partant toujours du morceau de planche obtenu lors de la première phase de sciage. La présence d'une ou plusieurs scies à ruban n'exclut pas celle de la scie multilames qui permet d'obtenir tous les éléments à arêtes droites.

Rabotage

C'est l'opération nécessaire pour obtenir des surfaces parfaitement planes. Elle peut être faite manuellement avec un rabot, procédé qui n'a pas encore été abandonné. Cependant, le rabot a été généralement remplacé par la dégauchisseuse et la raboteuse.

Avec la dégauchisseuse, on obtient deux surfaces planes, perpendiculaires entre elles; avec la raboteuse, on obtient les deux surfaces parallèles aux précédentes. Ce sont là des machines de base

pour le travail du bois; leur fonctionnement est simple et leur entretien est facile. Les machines à raboter et à moulurer constituent une bonne solution de remplacement, car elles permettent d'effectuer plusieurs opérations en même temps. Il s'agit de machines pourvues de plusieurs arbres, généralement de quatre à sept, portant chacun une fraise à mise rapportée pour raboter sur quatre faces; les trois autres peuvent servir d'outil pour obtenir le profil désiré. Le bois avance dans la machine à vitesse continue, à l'aide de rouleaux, ou par poussée avec des chaînes dont la vitesse peut varier jusqu'à plus de 30 m/mn; pour des pièces de petites dimensions ou qui ne sont pas courbées en bout, il faut utiliser l'avance en continu sur des rouleaux. La production de cette machine est très élevée; on peut l'équiper de dispositifs automatiques de chargement et de déchargement-empilement, afin qu'une seule personne puisse assurer son fonctionnement. Sa mise au point étant assez délicate, cette machine est particulièrement avantageuse pour la production d'un même élément en grandes quantités. On l'accouple souvent à la scie circulaire multilames, pour obtenir ainsi une ligne dont la productivité est extrêmement élevée avec un effectif limité à trois personnes.

Depuis quelques années, on a adopté, pour des essences particulières de bois, des calibreuses-ponceuses à bande large qui peuvent raboter le bois sur une épaisseur de quelques millimètres seulement. Cette solution, peu coûteuse en soi, est à conseiller lorsqu'il s'agit de travailler des bois difficiles à raboter et de coût unitaire élevé.

Pour le rabotage de surfaces au profil non rectiligne, la machine la plus simple et en même temps la plus souple est la fraiseuse ou toupie. Elle est pourvue d'un arbre sur lequel on peut monter divers outils, en l'occurrence des fraises à mise rapportée.

La fraiseuse à copier est une machine certes plus complexe, mais bien plus rentable et moins dangereuse que la fraiseuse ordinaire. Elle comporte essentiellement deux arbres verticaux sur lesquels sont montés, respectivement, une fraise à mise rapportée et un palpeur qui copie le profil à reproduire. Cette machine peut être également pourvue de deux arbres supplémentaires pour le ponçage. Son fonctionnement est assuré par une seule personne.

Fraisage

C'est l'opération qui permet d'obtenir, à l'aide d'outils appropriés, les formes et les profils les plus variés. La machine la plus utilisée pour ce travail est la toupie; comme on l'a déjà vu, elle est très souple et permet plusieurs types d'usinage; elle n'exige qu'un seul opérateur et peut être dotée d'un dispositif automatique d'alimentation. La vitesse de l'arbre peut atteindre 10 000 tr/mn. La fraise à affleurer est le complément de la précédente; c'est la machine qui convient pour le fraisage de profils variés à l'intérieur des pièces ou sur des pièces concaves; elle peut travailler avec modèle ou avec gabarit. Comme les outils sont de dimensions réduites, on peut atteindre des vitesses de l'arbre de 24 000 tr/mn et obtenir une excellente finition. Ce type de machine a énormément évolué au cours des dernières années, au point qu'il existe maintenant sur le marché des machines à commande numérique. Il est évident que le coût de ces machines est extrêmement élevé; elles ne se justifient donc que pour de très grosses productions en série (portes de meubles, par exemple).

Tournage

C'est l'opération qui permet d'obtenir des pièces de forme arrondie, sphérique ou cylindrique. Tout en se rappelant que l'on peut obtenir des solides à section pseudo-circulaire avec la toupie ou la moulurière, il faut noter que la véritable machine pour cette opération est le tour. La gamme des tours va de la machine simple dont l'outil est manié par un ouvrier pendant que la pièce tourne entre la pointe et la contre-pointe jusqu'à des machines très complexes, entièrement automatiques, capables de copier des profils préétablis, grâce à un chariot principal à avance automatique et des chariots porte-outils. Ceci explique la création de nombreuses entreprises spécialisées dans le tournage.

Sciage à dimension

C'est l'opération qui consiste à donner à une pièce sa longueur définitive. Elle peut être effectuée avec une simple scie circulaire à lame orientable. Pour des productions en grandes séries, on peut utiliser une scie circulaire à deux têtes, qui permet d'effectuer simultanément l'opération de coupe aux deux

extrémités de la pièce. Il faut également mentionner une machine combinée qui peut faire trois usinages successivement: son réglage et son fonctionnement sont faciles: elle exécute automatiquement la séquence de travail suivante : sciage en bout, fraisage et perçage. Cette machine est particulièrement utile quand il s'agit d'usiner une pièce à section rectangulaire qui doit être accouplée à une pièce de forme cylindrique.

Perçage et mortaisage

Ces opérations permettent de réaliser des trous à section circulaire ou des mortaises. Des machines à percer suffisent pour le premier travail; pour le second, il faut des mortaiseuses oscillantes; ces dernières peuvent également faire des trous simples. Pour les jointures, il faut généralement faire deux ou trois trous à axes parallèles; pour ce faire, on dispose de machines à plusieurs broches ou avec des broches à plusieurs forets qui peuvent effectuer des trous sous des angles différents. Les premières machines peuvent être équipées de broches indépendantes. Ceci est également vrai pour les mortaiseuses, où les différentes broches peuvent osciller sur un plan passant par leur axe. Il existe dans ce secteur un si grand nombre de machines qu'il est impossible d'en donner la liste complète; on mentionnera simplement les plus courantes :

- a) Perceuse automatique pour sièges;
- b) Perceuse-poseuse de chevilles automatique : elle perce, encolle et pose les chevilles;
- c) Mortaiseuse oscillante multiple, automatique : elle réalise simultanément les trous et les mortaises sur plusieurs plans et sous des angles différents; elle est particulièrement utile pour réaliser des profils non rectilignes sur les pieds postérieurs des chaises.

Tenonnage

Les tenons peuvent avoir une section rectangulaire ou, dans le cas des jointures de chaises, avoir des arêtes arrondies. La première configuration peut être obtenue à la toupie ou, pour la production en grande série, à la machine à fraiser équipée de porte-outils spéciaux. De toutes façons, la solution généralement adoptée est celle de la tenonneuse arrondisseuse, car elle permet d'obtenir un tenon qui s'adaptera parfaitement à la mortaise correspondante, donnant ainsi un joint à très bonne résistance mécanique. Les tenonneuses peuvent être équipées de une ou deux tables; elles peuvent donc travailler avec des temps morts réduits et leur production peut atteindre 16 tenons/mn. Elles peuvent faire des tenons différemment inclinés, à section rectangulaire ou circulaire, mais toujours perpendiculaires à la surface en bout de la pièce. La tenonneuse arrondisseuse automatique à deux têtes permet une production plus élevée : les deux têtes peuvent être déplacées de façon à usiner des pièces de différentes longueurs; elles peuvent faire simultanément deux tenons identiques ou différents en dimensions et en inclinaison; elles peuvent être équipées d'un chargeur automatique; la production peut atteindre et même dépasser 1 200 tenons à l'heure.

Ponçage

Cette opération a pour objet de supprimer les traces laissées par les outils lors des usinages précédents; elle donne à la pièce sa forme définitive et une surface lisse et régulière. On utilise des matériaux abrasifs appropriés, appliqués sur un support en papier ou en toile. Le ponçage peut être fait à la main ou avec des machines spéciales où la bande abrasive est actionnée par un moteur électrique. Sur les surfaces planes, on obtient les meilleurs résultats avec des ponceuses automatiques à bande large; si les deux bandes sont l'une au-dessus de l'autre, on peut procéder au ponçage simultané de deux faces parallèles. Ces machines doivent être pourvues d'un dispositif d'aspiration de la sciure provenant du ponçage. On obtient aussi d'excellents résultats avec des calibreuses-ponceuses à deux bandes jumelées, la première ayant un grain plus gros que la seconde.

Montage

Cette opération consiste à assembler les divers éléments pour constituer le produit définitif. L'outillage nécessaire peut être extrêmement simple : des étaux à main et des marteaux en caoutchouc. Cependant, pour la production en grande série, il est préférable d'utiliser des presses pneumatiques qui effectuent, grâce à un jeu de pistons, un assemblage rapide des éléments qui composent la chaise ou

tout autre produit similaire. Les éléments sont insérés dans un châssis assez rigide, qui peut être facilement modifié, selon les besoins.

Finition

On entend par finition toutes les opérations ayant pour objet d'améliorer l'aspect esthétique du produit et de lui donner une protection contre les agents physiques et chimiques extérieurs. Le cycle de finition le plus courant pour le bois massif consiste à appliquer une teinture, deux couches de fond et, après ponçage, une dernière couche de vernis. La teinture est normalement appliquée par immersion du produit dans un bac de dimensions appropriées, qui contient la teinture non diluée ou en solution aqueuse à faible teneur en matière sèche. On peut aussi appliquer la teinture avec des machines à vernir par arrosage ou par projection. La projection est faite au pistolet; la consommation de teinture est assez élevée, le temps de travail est plus long, mais le résultat final est excellent. L'application par arrosage pose des problèmes de constance de la teinte dans le temps, mais la machine peut être introduite dans une ligne continue de finition, ce qui est un avantage non négligeable. Le séchage de la teinture peut être fait dans le milieu ambiant, c'est-à-dire dans l'atelier, ou dans des tunnels chauffés que les produits traversent sur des chariots ou suspendus à un transporteur à chaîne.

L'application du vernis, quelle que soit la couche, est faite généralement au pistolet. C'est un outil facile à utiliser et à entretenir, avec lequel un ouvrier expérimenté peut faire un travail soigné et rapide. Le procédé électrostatique constitue une amélioration, tant en ce qui concerne la consommation de produits de vernissage que les temps d'application, notamment dans le cas d'objets tels que les chaises, les cadres, etc.; le produit de vernissage est nébulisé dans un champ électrostatique où l'un des pôles est constitué par le pistolet de projection et l'autre pôle par l'objet à vernir. Théoriquement, tout le produit de vernissage projeté devrait se déposer sur l'objet à vernir, même sur les parties cachées. Le produit de vernissage doit être adapté à ce procédé d'application et l'humidité du bois doit être maintenue à une certaine valeur. Il faut également contrôler l'hygrométrie de l'air ambiant : plus l'air est sec et plus le procédé électrostatique est efficace. Un autre procédé intéressant, notamment pour les grandes surfaces, est l'utilisation de pistolets électrostatiques sans air; le produit de vernissage est nébulisé, en l'absence d'air, par une forte pression dans le pistolet. Grâce à des buses spéciales, ce procédé a pu être appliqué récemment pour le vernissage de chaises, ce qui se traduit par de nouvelles économies de temps et de produit de vernissage. Au cours des toutes dernières années, ces procédés électrostatiques ont été introduits dans les lignes automatiques de finition, ce qui a permis de résoudre certains problèmes de vernissage automatique des chaises.

Quel que soit le mode d'application, l'excès de solvant et les particules de résine non déposées sur l'objet à vernir doivent être éliminés au moyen d'aspirateurs spéciaux. Ces dispositifs d'évacuation font partie des cabines de vernissage; ils sont séparés de la zone de travail par une grille métallique, des filtres ou un rideau d'eau. Le vernis peut être séché naturellement ou dans des tunnels à air chaud du type décrit plus haut. Les extrémités du tunnel doivent être maintenues à une température inférieure à celle de la partie centrale, afin de permettre le dessèchement et le refroidissement du vernis. La température maximale ne devrait pas dépasser 50-60 °C, afin d'éviter des dommages à l'objet assemblé.

Il convient de mentionner un autre procédé de vernissage des chaises et autres articles similaires : le disque électrostatique. Ce procédé a trouvé quelques applications dans des chaînes de fabrication entièrement automatisées. L'appareil consiste en un disque métallique tournant autour de son axe et se déplaçant le long de cet axe sur une longueur égale à environ la hauteur de l'objet à vernir; celui-ci décrit une sorte d'oméga majuscule autour du disque, auquel il expose ainsi ses quatre faces; il se crée un champ électrostatique entre le disque et l'objet, de sorte que la totalité du vernis devrait aboutir sur l'objet en une succession de couches de très faible épaisseur.

En dépit de tous les efforts pour automatiser le processus de finition, il reste une opération qui doit être faite à la main : le ponçage de la couche de fond. Ce travail doit être fait par l'homme, parfois avec l'aide de petites ponceuses électriques ou pneumatiques. Dans une usine de fabrication de chaises, cette opération occupe plus de 10 % de toute la main-d'œuvre directe.

Phases accessoires de la fabrication de chaises

Les goujons sont faits à l'aide d'une machine qui peut réaliser des goujons à section circulaire, taraudés ou non, de différents diamètres et de différentes longueurs.

Le fraisage des chantignoles est fait par une machine spéciale, la fraiseuse à carrousel, qui peut effectuer plusieurs fraisages simultanément et automatiquement; on évite ainsi l'utilisation de la toupie, qui comporterait de graves risques pour les ouvriers. Cette même machine peut servir à réaliser les contours des sièges, qu'ils soient en bois massif ou en panneaux.

La production de petits panneaux de contre-plaqué est effectuée à la presse à chaud ou à froid. Pour la production en grande série, on peut utiliser un ensemble chauffage à haute fréquence-presse; ceci permet d'abréger considérablement le temps de prise des colles appliquées entre les couches de placages utilisés pour la formation des panneaux. Ce procédé est très utilisé dans la production d'éléments lamellaires et de panneaux lattés, ainsi que dans la cambrure d'éléments en bois. L'application de ce procédé exige des colles spéciales.

Le service d'entretien doit disposer de quelques machines-outils pour le travail des métaux : perceuses à colonne, meuleuses, soudeuses électriques, etc. Il faut aussi, évidemment, un atelier d'affûtage des lames de scie, des couteaux et des forets, qui sera équipé notamment de machines à affûter et d'appareils à avoyer, à braser et à souder.

Pour terminer cet exposé, il faut souligner que, lorsqu'il s'agit de fabriquer peu de modèles en très grande série, tous les éléments d'une chaise peuvent être usinés jusqu'au stade du montage par une machine universelle équipée de plusieurs porte-outils lui permettant de raboter, fraiser, percer, scier en bout, tenonner, poncer, etc., chaque opération étant effectuée par un ou deux porte-outils facilement démontables et remplaçables. Les divers usinages sont commandés par un ordinateur et le fonctionnement de la machine n'exige donc qu'une seule personne.

Equipement d'une usine

On trouvera ci-dessous une liste des machines et outillages nécessaires à une fabrique de chaises ayant un effectif d'environ 50 personnes. Les machines ont été choisies en fonction de leur possibilité d'adaptation à une production très diversifiée et de leur simplicité de fonctionnement.

a) Production d'éléments rectilignes tenonnés

1. Scie circulaire à mouvement pendulaire, à commande pneumatique
2. Scie circulaire multilames, largeur utile de 300 mm
3. Moulurière à sept porte-outils, largeur utile de 170 mm
4. Tenonneuse automatique à deux têtes arrondisseuses

b) Production d'éléments à profil non rectiligne et autres usinages

5. Deux scies à ruban, à volant de 900 mm de diamètre
6. Dégauchisseuse, largeur utile de 520 mm
7. Raboteuse, largeur utile de 630 mm
8. Deux toupies, à cinq vitesses jusqu'à 10 000 tr/mn
9. Machine à scier en bout, à deux têtes fixes
10. Machine à scier en bout-perceuse-fraiseuse automatique
11. Mortaiseuse oscillante automatique, à forets opposés
12. Mortaiseuse oscillante automatique, à trois porte-outils indépendants
13. Défonceuse à tête flottante
14. Tour automatique, avec dispositif de centrage
15. Ponceuse à bande large supérieure, largeur utile de 110 cm
16. Quatre ponceuses à bande horizontale de 490 cm
17. Ponceuse à brosse, avec tête porte-abrasif
18. Ponceuse d'établi
19. Dispositif d'évacuation de la sciure et des poussières, pour 12 ponceuses
20. Machine automatique à faire les goujons
21. Fraiseuse à carrousel pour chantignoles et panneaux

c) Montage et finition

22. Presse pneumatique de préassemblage
23. Presse d'assemblage

24. Presse hydraulique à un étage, à chauffage électrique; surface : 2,50 m × 1,30 m
25. Quatre bacs pour teinture par immersion
26. Deux cabines de vernissage par projection, à rideau d'eau; 4 m × 2,20 m × 2 m
27. Trois pistolets électrostatiques
28. Quatre pistolets ordinaires à vernir
29. Trois pistolets à encoller, avec réservoir de colle

c) Service des modèles et gabarits

30. Toupie
31. Mortaiseuse oscillante à une table
32. Tenonneuse arrondisseuse automatique à deux tables
33. Scie à ruban
34. Moulurière à sept porte-outils

e) Maintenance

35. Machine à affûter, à meules
36. Machine à souder portative, 3 kW
37. Perceuse à colonne
38. Machine à affûter les couteaux
39. Machine à affûter universelle
40. Machine à affûter et avoyer les lames de scie
41. Machine à braser et souder

f) Installations auxiliaires

42. Evacuation des copeaux et de la sciure : deux collecteurs, un volume de 315 m³ au moins, deux circuits électriques d'aspiration, un dispositif de filtrage
43. Air comprimé : un compresseur rotatif, un réservoir de 1 000 litres au moins
44. Installation électrique : une cabine de transformation et des lignes de distribution du courant
45. Appareil de levage hydraulique de 4 tonnes

g) Outillage

46. Outils nécessaires aux machines et à leur entretien; tables d'assemblage et de ponçage; tables et supports pour les éléments en cours d'usinage

Sur la base de la liste ci-dessus, on peut calculer l'investissement pour les machines et les installations auxiliaires, ainsi que l'investissement par personne. Aux prix en vigueur à la fin de 1977, l'investissement pour l'équipement technique de l'usine considérée aurait été de l'ordre de 450 millions de liras, soit un investissement de 9 millions de liras par personne.

XVIII. Procédés et machines pour la fabrication de meubles à panneaux*

La fabrication du meuble à panneaux est le reflet moderne de la menuiserie traditionnelle; on a cherché à industrialiser ce qui avait toujours été considéré comme strictement artisanal.

Le meuble a été divisé en éléments distincts (voir figure 1) : le corps, constitué des côtés, du dos, de la base et du haut; la façade, qui est constituée des portes et tiroirs; l'intérieur, qui est constitué d'étagères ou d'éléments particuliers. On donne à chaque élément des caractéristiques techniques et une finition particulières afin de pouvoir procéder à l'assemblage final et obtenir ainsi un meuble. L'assemblage s'effectue avec des ferrures spéciales ou, tout simplement, avec des chevilles en bois et de la colle vinylique.

Afin de conférer le plus de réalisme possible à l'exposé des procédés et des machines utilisés, il a été jugé utile de considérer trois niveaux quantitatifs de production :

- a) Niveau A : faible production quotidienne, techniques de production artisanale, effectif de quelques personnes;
- b) Niveau B : production quotidienne moyenne, effectif de quelques dizaines de personnes;
- c) Niveau C : production quotidienne élevée et organisée de façon industrielle, effectif dépassant la centaine de personnes.

Préparation des panneaux

Le cycle de fabrication de meubles à panneaux commence naturellement par la fabrication des panneaux. Celle-ci comporte généralement trois opérations distinctes : coupe sur mesure des panneaux, préparation des panneaux à âme creuse, préparation des placages; mais ces opérations peuvent être réduites à deux ou même à une, selon la nature du matériau adopté comme support. En effet, les divers éléments du meuble peuvent être de l'un des types suivants :

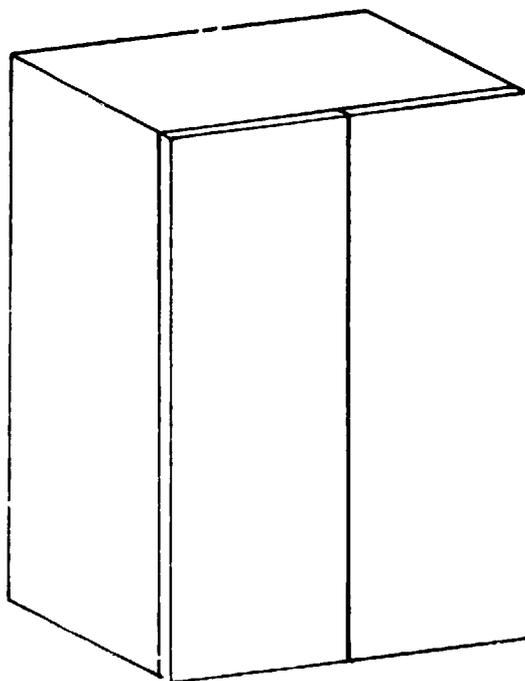
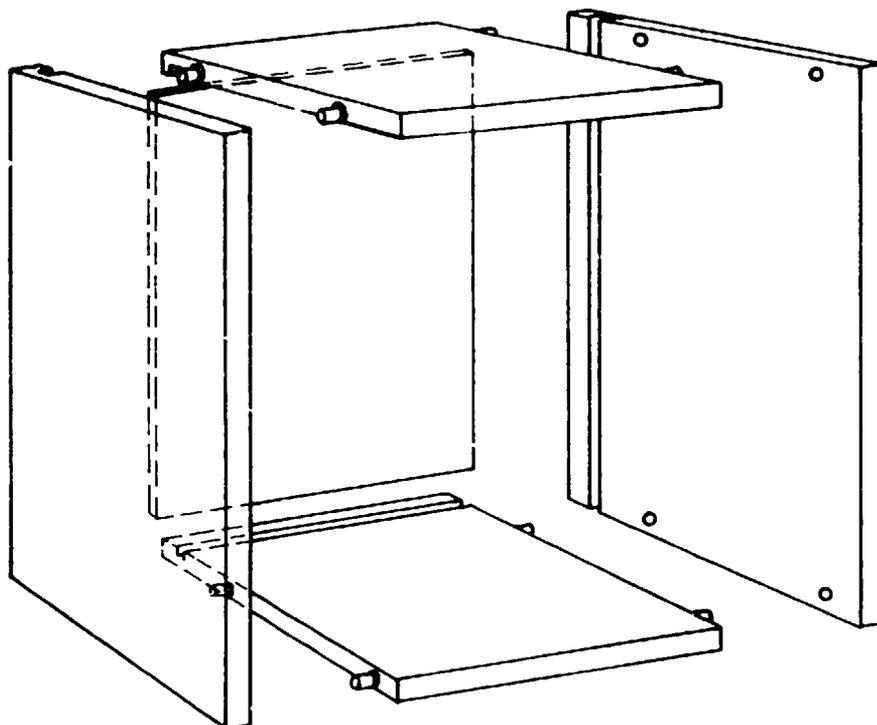
- a) Panneau à âme creuse;
- b) Panneau de particules;
- c) Panneau latté;
- d) Panneau de particules revêtu de produits mélaminés;
- e) Panneau de particules revêtu de papier ou de CFV;
- f) Contre-plaqué;
- g) Panneau d'agglomérés.

Coupe sur mesure

Comme on vient de le voir, les panneaux peuvent être de divers types selon leur destination dans la composition du meuble. Dans tous les cas, les panneaux sont achetés dans des formats standards et doivent donc être découpés en pièces ayant les dimensions de l'élément du meuble considéré, augmentées d'une valeur pouvant aller jusqu'à 15 mm pour permettre l'opération ultérieure de délignage

* Par A. Schiavo, ingénieur-conseil en planification et gestion industrielles, spécialisé dans le secteur du meuble. (Version revue et corrigée du document ID/WG.277/8/Rev.1.)

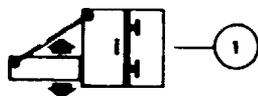
Figure 1. Assemblage des éléments du corps



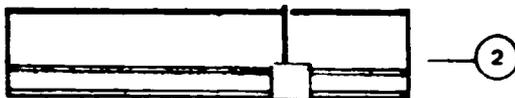
Meuble assemblé

Figure 2. Agencements pour la coupe sur mesure des panneaux

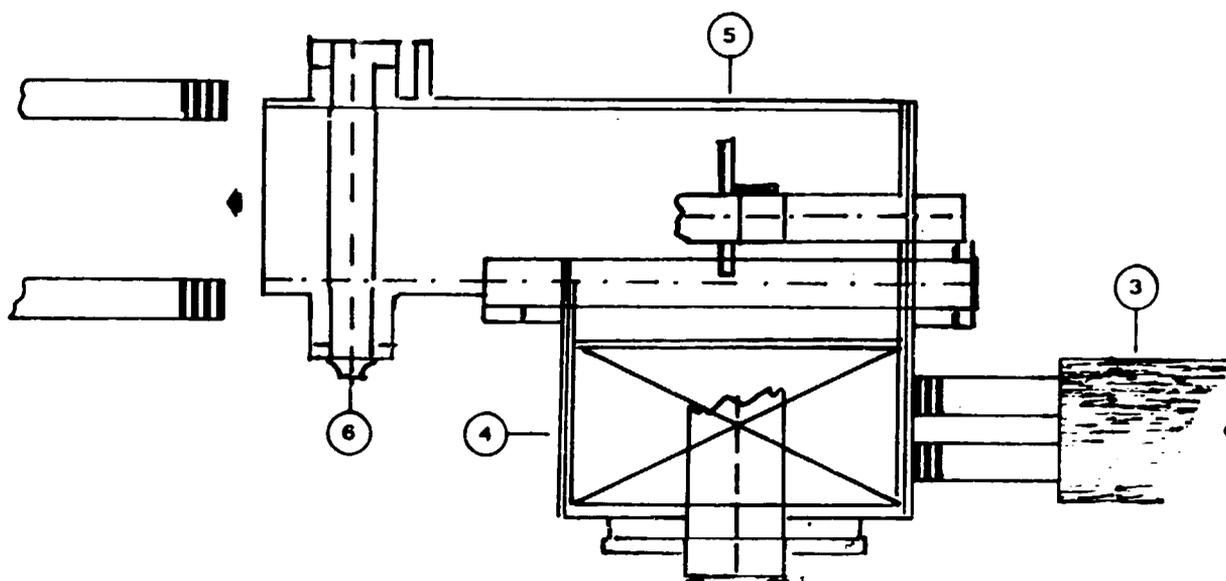
Niveau A



Niveau B



Niveau C



- Légende :
- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 Scie circulaire, avec table mobile | 4 Chargeur automatique |
| 2 Scie verticale monolithique pour panneaux | 5 Scie pour coupe longitudinale |
| 3 Stockage des panneaux | 6 Scie pour coupe transversale |

de finition. Les dimensions des panneaux vendus sur les marchés des pays développés varient de 130 à 250 cm de largeur et de 250 à 600 cm de longueur. Les scies circulaires nécessaires selon le niveau de production sont décrites ci-après; la figure 2 montre un agencement possible pour cette phase du cycle de fabrication.

Niveau A. — Il suffit de disposer d'une scie circulaire et d'une table mobile sur laquelle reposent les panneaux à découper. Cette opération exige trois ouvriers, pour une production de 5-10 m² de panneaux en 8 heures. Dans certains cas, cette scie circulaire peut également servir à d'autres opérations; il est préférable de l'équiper d'une lame pour inciser le panneau avant de le couper, ceci afin d'éviter des éclats.

Niveau B. — Il faut utiliser une scie circulaire monolame, à outil mobile, pour coupe longitudinale et transversale. Un lot de panneaux est disposé verticalement auprès de la machine; chaque panneau est prélevé du lot et positionné sur la machine à l'aide d'une ventouse fixée sur un bras mobile. Il faut un ou deux opérateurs; la production est comprise entre 8 et 15 m³ en 8 heures de travail.

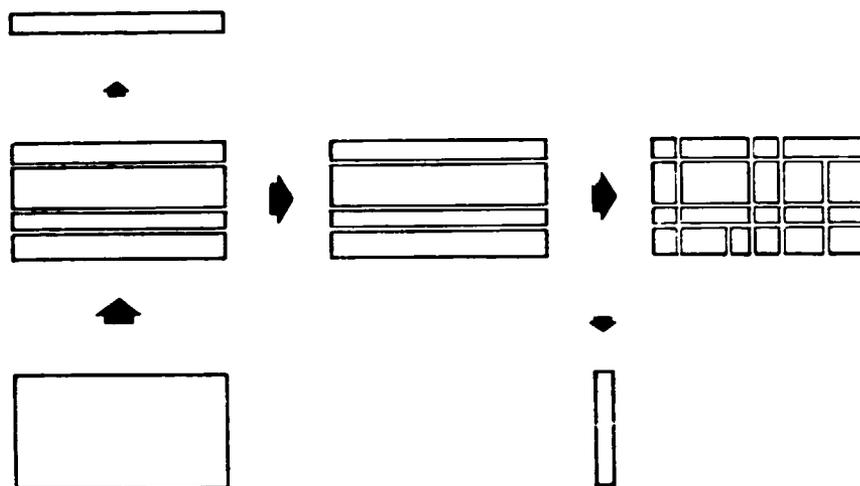
Niveau C. — Pour couper de grandes quantités de panneaux, il faut des installations assez sophistiquées; il s'agira toujours de scies circulaires monolame ou multilames, pour coupe longitudinale et transversale sur des lots de panneaux disposés sur un appui horizontal fixe ou mobile. On a le choix entre trois systèmes :

a) Scie circulaire multilames pour effectuer simultanément toutes les coupes longitudinales sur le lot de panneaux; une lame fixée sur un support mobile au-dessus de la table de travail effectue les coupes transversales;

b) Scie monolame, fixée sur un support vertical spécial, qui exécute aussi bien les coupes longitudinales que les coupes transversales en pivotant de 90°;

c) Installation comprenant une première scie monolame, avec dispositif d'incision, pour les coupes longitudinales, et une deuxième scie, analogue à la première, pour les coupes transversales; la translation du lot de panneaux et des pièces découpées se fait automatiquement. Toutes les opérations peuvent être programmées mécaniquement ou électroniquement. On peut utiliser des dispositifs automatiques de chargement et de déchargement des lots de panneaux. La figure 3 donne une représentation schématique des opérations.

Figure 3. Diagramme de flux de la coupe sur mesure



Il faut de un à trois opérateurs. Selon les installations et la nature des travaux, la production peut varier de 20 à 100 m³ en 8 heures de travail.

Préparation des panneaux à âme creuse

Les panneaux à âme creuse sont constitués d'un cadre en lattes de bois tendre et bon marché, qui est rempli avec du papier ou du bois. Les lattes doivent être bien séchées, afin d'éviter des déformations ultérieures. Pour le revêtement, on peut utiliser du contre-plaqué, des panneaux de particules ou des panneaux d'agglomérés.

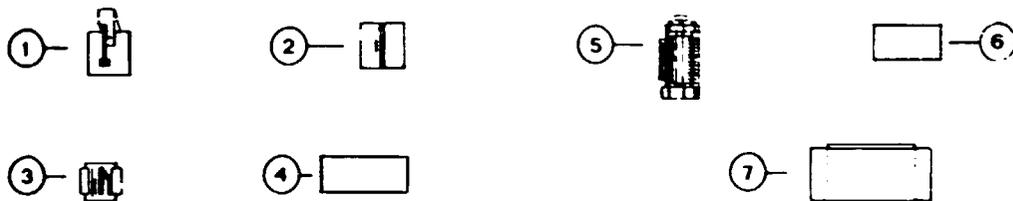
Il existe deux méthodes d'obtention des lattes constituant les montants et les traverses du cadre :

- a) Sciage en long des planches, dont l'épaisseur constituera la largeur des lattes;
- b) Rabotage des planches pour obtenir l'épaisseur des lattes, puis sciage à la largeur voulue.

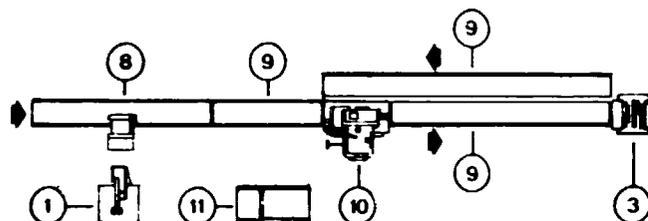
Les installations varient beaucoup selon les quantités de panneaux à fabriquer. La figure 4 montre des agencements possibles.

Figure 4. Agencements pour la préparation de panneaux à âme creuse

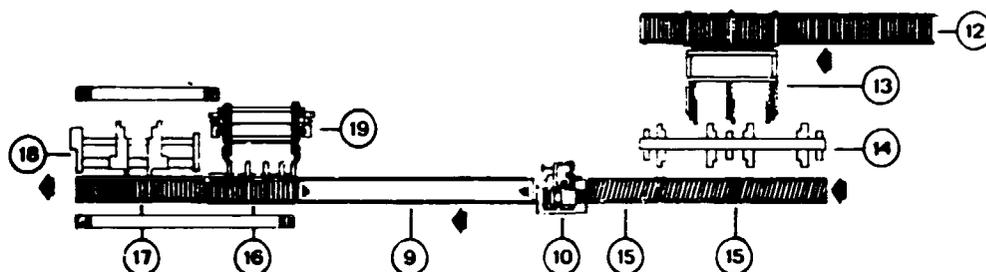
Niveau A



Niveau B



Niveau C



Légende :

- 1 Scie à ruban
- 2 Scie circulaire
- 3 Raboteuse
- 4 Table d'assemblage des cadres
- 5 Encolleuse
- 6 Transporteur à disques
- 7 Presse à plateaux chauffés
- 8 Scie pendulaire
- 9 Transporteur à bande

- 10 Scie multilames pour coupe longitudinale
- 11 Dégauchisseuse
- 12 Table à rouleaux (stockage)
- 13 Empileur automatique
- 14 Coupe sur mesure des planches
- 15 Transporteur à rouleaux vers 10
- 16 Dispositif de pivotement (90°) vers 19
- 17 Transporteur à rouleaux vers 18
- 18 Déchargeur automatique
- 19 Scie pendulaire automatique (coupe en bout)

Niveau A. — Les planches sont achetées déjà séchées. La première opération à effectuer est la coupe en bout à la longueur désirée; elle est faite avec une scie à ruban. On procède au sciage en long avec une scie circulaire; le cas échéant, les lattes passent ensuite sur la machine à raboter. Le jointage des lattes pour former le cadre est réalisé avec des agrafes métalliques posées par une machine à agraffer. Le matériau de remplissage (en général du carton nid d'abeille) est ensuite introduit dans le cadre et maintenu avec quelques agrafes métalliques. Le cadre ainsi rempli passe ensuite sur l'encolleuse qui applique de la colle uréique sur les deux faces. On pose ensuite les panneaux de revêtement et le tout est placé dans une presse à deux plateaux chauffants. La température de l'eau circulant dans les plateaux écart de 90°C, le temps de pressage dépend de l'épaisseur du panneau de revêtement; il est d'environ 5 à 7 minutes. Après le pressage, il faut laisser les panneaux se refroidir et se stabiliser avant de procéder aux opérations suivantes.

Niveau B. — Le principe des opérations est le même que pour le niveau A, mais il faut utiliser les machines suivantes :

- a) Scie circulaire monolame pour la coupe en bout;

- b) Scie circulaire multilames pour la coupe longitudinale;
- c) Machine à raboter, nécessaire dans certains cas;
- d) Scie à ruban, pour découper les traverses et les chevilles qui pourraient être nécessaires à l'intérieur du cadre;
- e) Etabli avec une agrafeuse manuelle pour assembler les montants et les traverses;
- f) Machine à encoller sur deux faces;
- g) Presse à plusieurs étages, à plateaux chauffants;
- h) Transporteur à disques, entre l'encolleuse et la presse.

Niveau C. — Il s'agit de produire de grandes quantités de panneaux et il faut donc des machines et des outillages bien plus complexes et sophistiqués.

La première opération est le séchage du bois dans des séchoirs appropriés. Les planches séchées sont empilées dans un dépôt; un dispositif automatique les prélève une par une et les amène à une scie multilames qui les débite aux longueurs voulues pour constituer les montants et les traverses des cadres; les pièces ainsi débitées sont amenées par un transporteur à la scie circulaire multilames qui effectue la coupe longitudinale; les dimensions des lattes ainsi obtenues sont vérifiées lors de leur parcours sur un transporteur. Les lattes sont ensuite positionnées sur des palettes en vue de l'assemblage des cadres; l'assemblage est effectué par une machine spéciale qui agrafe automatiquement. Le jointage des lattes peut être réalisé avec des agrafes métalliques ou avec une colle thermoplastique. Ensuite, le pressage pour la formation du panneau est effectué de la même manière que pour les niveaux A ou B, avec des presses à plusieurs étages.

Préparation du placage

La préparation du placage commence par le choix de feuilles de placage achetées en paquets ou en rouleaux; ensuite, les feuilles sont coupées à la longueur voulue, puis elles sont jointes pour obtenir la largeur désirée. Le succès de ces opérations dépend entièrement de l'habileté des ouvriers. En effet, le choix judicieux des feuilles de placage et la technique utilisée pour leur jointage revêtent une importance capitale. Après jointage, les placages sont contrôlés et numérotés. Les machines nécessaires sont indiquées ci-après.

Niveau A :

- a) Massicot pour trancher les placages dans les deux sens;
- b) Machine à jointer les placages avec papier gommé.

Niveau B :

- a) Massicot;
- b) Machine à jointer;
- c) Machine à assembler;
- d) Table d'inspection.

Niveau C :

Il ne s'agit que d'augmenter le nombre des machines indiquées pour le niveau B, en fonction de la production à atteindre.

La figure 5 donne une représentation schématique d'agencements possibles.

Revêtement du panneau

Le panneau formé comme indiqué plus haut doit être revêtu, soit d'un placage, soit de matériaux finis (papier ou CPV), soit d'un produit de vernissage, après application d'un mastic et d'une couche de fond.

Application des placages

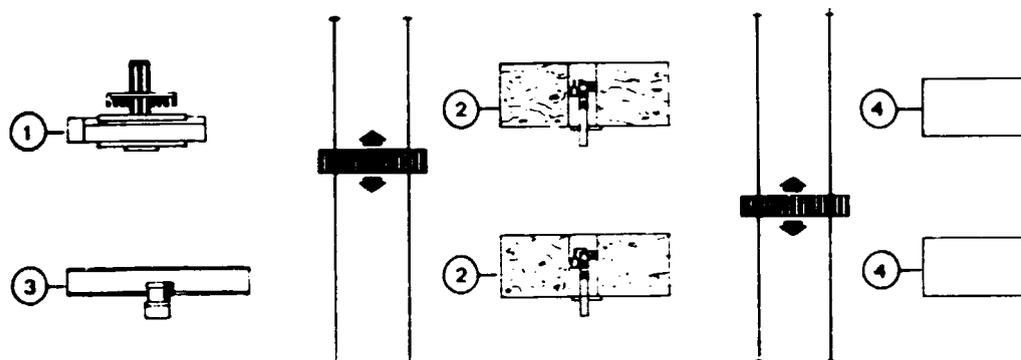
Après encollage¹, le placage est normalement appliqué sur le panneau par pressage, suivi d'un refroidissement. L'équipement nécessaire varie selon le niveau de production. La figure 6 donne une représentation schématique d'agencements possibles.

Figure 5. Agencements pour la préparation des placages

Niveau A



Niveau B



Légende : 1 Massicot
2 Machine à jointer
3 Scie
4 Table de contrôle

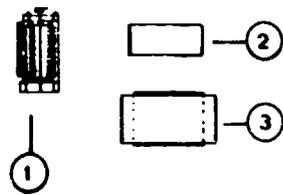
Niveau A. — La colle préalablement préparée est appliquée sur le panneau avec une encolleuse à rouleaux. Les feuilles de placage, préparées comme indiqué plus haut, sont positionnées sur les deux faces du panneau. L'ensemble ainsi constitué est introduit dans une presse à un seul étage, à deux plateaux chauffants (90 °C). Le temps de pressage varie considérablement, selon le type de placage, son épaisseur et le type de colle utilisée; normalement, ce temps varie de 2 à 3 minutes. La pression est de l'ordre de 3,5 kgf/cm².

Niveau B. — Avant d'appliquer le placage, on procède au calibrage du panneau avec une ponceuse, en utilisant des abrasifs d'un grain relativement gros. Comme la ponceuse ne peut travailler que sur une face, le panneau devra passer deux fois, après avoir été retourné. Les opérations d'encollage et de pressage sont les mêmes que pour le niveau A; on utilise une presse à un seul étage ou une presse à plusieurs étages, selon la quantité de panneaux à presser. A la sortie de l'encolleuse, le panneau est maintenu par des disques très minces, dont la partie inférieure baigne dans un bac d'eau (pour que les disques restent propres). Ce dispositif sert à maintenir le panneau jusqu'à la pose du placage par l'opérateur. Enfin, un appareil constitué d'une cuve et d'un malaxeur facilitera la préparation de la colle uréique.

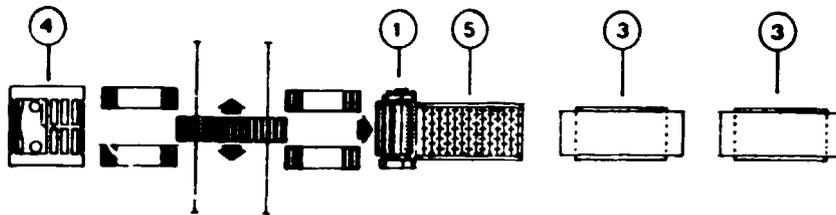
¹ Pour de plus amples détails sur l'encollage, voir chapitre XIII.

Figure 6. Agencements pour l'application des placages

Niveau A



Niveau B



Niveau C



- Légende :
- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1 Encolleuse | 6 Chargeur automatique |
| 2 Table de préparation | 7 Transporteur à rouleaux en chevrons |
| 3 Presse à chaud | 8 Transporteur à bande |
| 4 Ponceuse | 9 Presse automatique |
| 5 Transporteur à disques | 10 Transporteur (après pressage) |

Niveau C. — Il faut disposer d'une installation entièrement automatisée pour effectuer toutes les opérations, depuis le chargement sur la ponceuse jusqu'au déchargement de la presse. La chaîne est ainsi constituée :

- a) Chargeur automatique des panneaux; il peut être du type « par poussée »;
- b) Dispositif de liaison;
- c) Ponceuse à deux bandes, pour travail simultané sur deux faces;
- d) Encolleuse pour travail simultané sur deux faces;
- e) Table d'application des placages sur les panneaux encollés;
- f) Presse à un seul étage.

L'installation de pressage est constituée d'un transporteur à bande, du bloc presse proprement dit et d'un transporteur à bande qui assure le déchargement de la presse; les mouvements des deux transporteurs sont synchronisés.

Application de matières synthétiques

Étant donné le coût élevé des installations nécessaires, ce type de revêtement n'est intéressant que pour les niveaux B et C. On peut classer les matières utilisées en deux groupes principaux : papiers ayant subi divers traitements, films thermoplastiques. La figure 7 donne le schéma d'une installation pour l'application de matières synthétiques.

Certains papiers sont de simples substituts d'un placage en bois; après leur application, il faut donc procéder à un cycle de vernissage. Les papiers peuvent être imprégnés de résines mélaminées ou autres; ils sont alors destinés à ennobler directement le panneau. Il en est de même des films thermoplastiques à base de chlorure de polyvinyle. Ces papiers et ces films sont appelés des stratifiés décor.

Si on utilise des stratifiés décor, le cycle général de fabrication est considérablement réduit, car on évite entièrement tous les travaux de ponçage et de vernissage. Avec des feuilles de CPV, on peut revêtir les deux faces et les chants d'un panneau. Il est même possible, grâce à certaines machines qui seront décrites ultérieurement, de revêtir tout le corps d'un meuble avec une seule feuille de CPV.

Les machines pour l'application de feuilles de CPV dépendent du niveau auquel on travaille.

Niveau B. — Il faut disposer des trois machines ci-après :

- a) Machine à nettoyer les surfaces (brossage des faces et des chants;
- b) Machine à dérouler les feuilles de CPV, avec dispositif d'application sur le support et de massicotage;
- c) Transporteur à bande et calandre pour le pressage.

Comme l'encollage est fait avec une colle vinylique, les panneaux doivent être empilés avec soin pendant le temps nécessaire au durcissement de la colle.

Niveau C. — Les machines nécessaires sont les mêmes qu'au niveau B, mais elles sont complétées par un dispositif automatique de chargement et de déchargement des panneaux.

Application de mastic ou de couches de fond

Cette opération doit être effectuée sur des panneaux bruts (panneaux à âme creuse ou panneaux de particules), son but étant de faciliter l'opération ultérieure d'ennoblissement final. Il s'agit d'obtenir l'effet de grain d'un bois déterminé par impression lors du vernissage, ou d'obtenir des teintes variées grâce à l'application d'un vernis pigmenté. Pour le masticage, il faut utiliser des mastics à base de polyesters, en quantités qui varient, selon la nature du support, de 200 à 500 g/m².

Niveau A. — Il est préférable d'acheter des panneaux ayant déjà fait l'objet de ce traitement, étant donné le coût très élevé de l'outillage nécessaire.

Niveau B. — Il faut disposer d'une machine à poncer, d'une machine à mastiquer et d'un séchoir à rayons ultraviolets. Le temps de séchage varie de 10 à 30 secondes, en fonction du type de lampe (comme dans le cas des placages).

Niveau C. — Il faut compléter les machines du niveau B pour obtenir la chaîne suivante : dispositif automatique de chargement, élément de liaison, machine à poncer, machine à nettoyer les surfaces (pour enlever les poussières et la sciure de bois avant le masticage), une machine à mastiquer, un autre élément de liaison, un séchoir et un dispositif automatique de déchargement.

La figure 8 montre un agencement possible des machines pour les niveaux B et C.

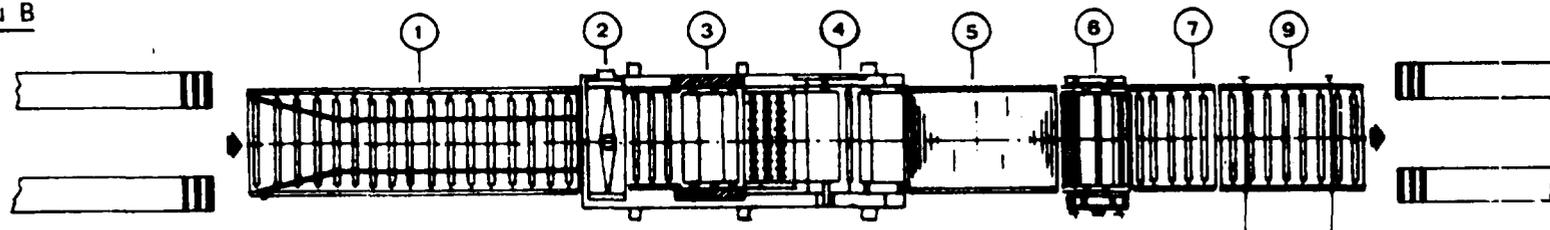
Déclignage, encollage sur chants et perçage

Pour les opérations décrites jusqu'ici, les procédés et les machines dépendaient du type de panneau et du matériau de revêtement. Par contre, les opérations dont il va être question maintenant sont communes à tous les types de panneau; elles seront traitées simultanément, par niveau de production.

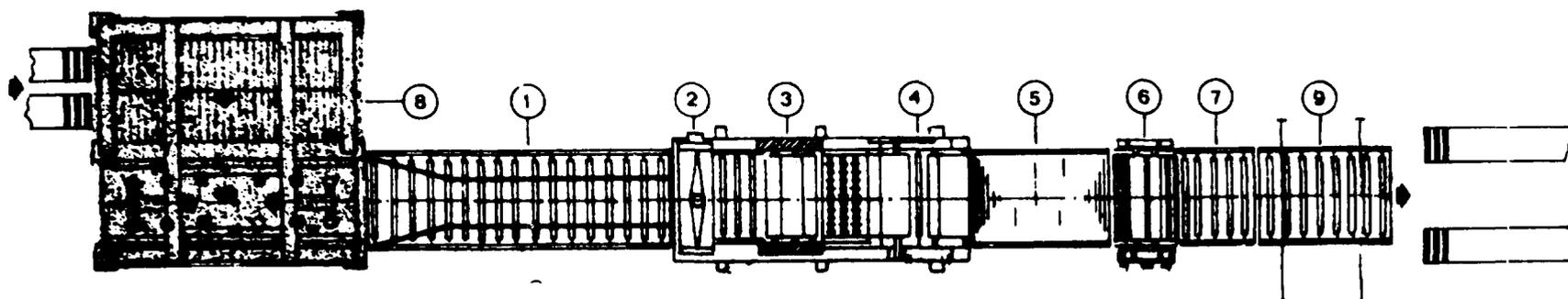
Niveau A. — Le déclignage de finition (longitudinalement et transversalement) des panneaux est effectué avec une décligneuse à deux lames, complétée éventuellement par un dispositif de chargement commandé automatiquement ou manuellement. Il s'agit d'obtenir des chants prêts à être revêtus d'un placage ou d'un matériau plastifié. L'encollage des chants peut être effectué avec une encolleuse à une

Figure 7. Agencements pour l'application de matières synthétiques

Niveau B



Niveau C

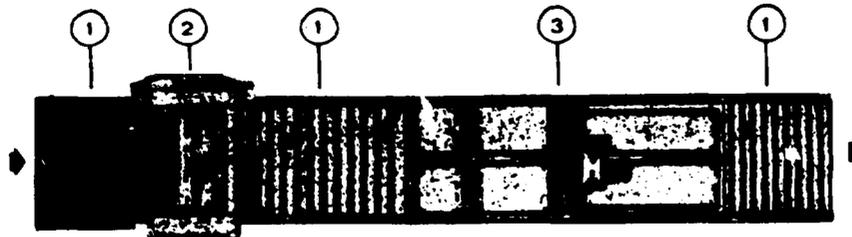


Légende : 1 Transporteur à rouleaux
 2 Machine à broser
 3 Dérouleuse
 4 Massicot
 5 Transporteur à bande

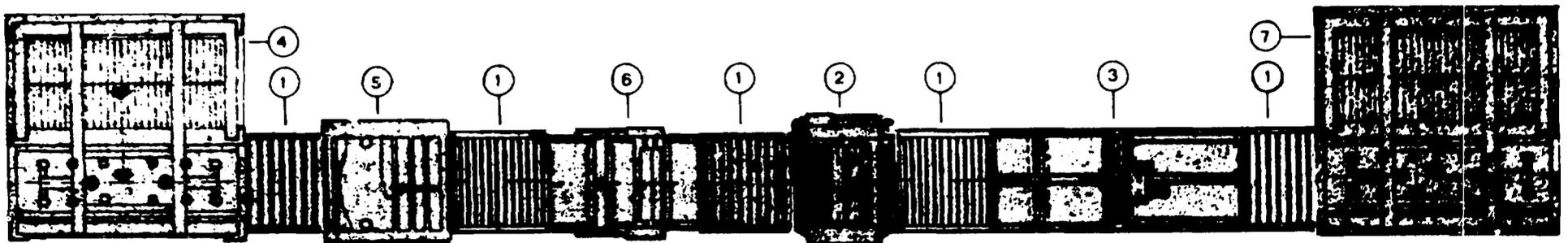
6 Calandre
 7 Transporteur à rouleaux
 8 Chargeur automatique
 9 Glissière de 7

Figure 8. Agencements pour le masticage

Niveau B



Niveau C



- Légende :
- | | | | |
|---|------------------------|---|------------------------|
| 1 | Elément de liaison | 5 | Ponçeuse |
| 2 | Machine à masticuer | 6 | Machine |
| 3 | Séchoir à ultraviolets | 7 | Déchargeur automatique |
| 4 | Chargeur automatique | | |

seule tête; le panneau doit donc passer sous la machine autant de fois qu'il y a de chants à encoller. Ensuite, il faut procéder à tous les perçages nécessaires pour le montage éventuel de quincailleries et pour l'assemblage final du meuble. Une perceuse à une seule tête mobile permet de faire des trous horizontaux et des trous verticaux. Pour diverses opérations auxiliaires, il est bon de disposer de quelques autres machines, telles que défonceuse et toupie.

Niveau B. — Il est indispensable de disposer de trois machines de base, qui puissent être agencées en batterie, afin d'automatiser les manipulations et de réduire les temps de travail. Cependant, ces machines doivent être installées de manière à pouvoir fonctionner individuellement. Ce sont :

a) Une déligneuse-tenonneuse double, équipée de dispositifs permettant aussi bien le délignage de finition que des fraisages programmés. Avec cette machine, on procède d'abord au délignage longitudinal, puis au délignage transversal;

b) Une encolleuse sur chants double, reliée à la machine précédente par un transporteur mécanisé qui peut être mis hors service pour que les deux machines deviennent indépendantes. Les deux têtes de la machine doivent être identiques et utilisables avec du bois ou des matériaux thermoplastiques, en bandes ou en rouleaux;

c) Une perceuse multibroches, permettant de faire des trous horizontaux, verticaux, par-dessus et par-dessous. Le nombre de broches doit être fonction du plan de perçage à exécuter. Cette machine doit être reliée aux précédentes, de façon qu'après les opérations de délignage et d'encollage des chants, on puisse exécuter en une seule passe tous les perçages voulus.

Il faut également disposer de machines auxiliaires telles que défonceuse, toupie, encolleuse sur chants courbes, perceuse monobroche et scie circulaire avec dispositif d'incision.

Niveau C. — Comme il s'agit d'une production en grandes quantités, les trois opérations considérées doivent être exécutées sur une chaîne entièrement automatisée, ainsi composée :

- a) Dispositif de chargement;
- b) Déligneuse longitudinale;
 - c) Encolleuse des chants longitudinaux;
- d) Dispositif de retournement des panneaux;
- e) Déligneuse transversale;
- f) Encolleuse des chants transversaux;
- g) Perceuse multibroches;
- h) Machine à poser les chevilles (dans le cas de panneaux revêtus de papiers mélaminés ou de CPV);
 - i) Dispositif de retournement des panneaux;
 - j) Dispositif de déchargement.

La figure 9 donne une représentation schématique d'agencements pour les trois niveaux de production. Il faut choisir les machines et leur agencement avec le plus grand soin, en évaluant la quantité et le type de production envisagés. L'une des considérations les plus importantes à ce sujet est que la production d'une ligne complète de délignage/encollage sur chants est en relation étroite avec la quantité de pièces identiques à usiner. En effet, comme le montre la figure 10, des données empiriques ont permis de conclure que la productivité d'une telle ligne n'est optimale qu'à partir de 1 000 panneaux identiques. Il est donc évident que si la quantité de pièces à produire est nettement inférieure à ce chiffre, la ligne complète de production perd son efficacité et devient même antiéconomique pour des quantités très faibles (100 à 200 pièces). En pareil cas, il est préférable de prévoir deux lignes distinctes, avec un groupe de perçage indépendant.

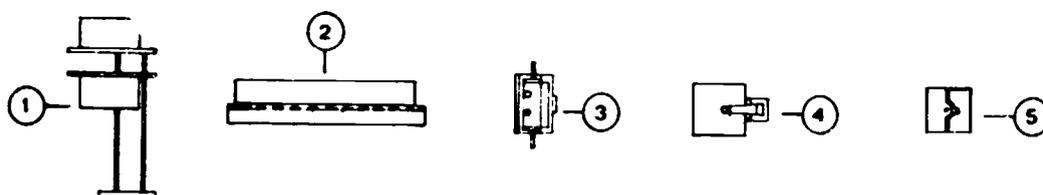
Les lignes séparées ont deux avantages principaux : le temps d'outillage (qui est consacré en grande partie à la perceuse) diminue considérablement si l'on retire la perceuse de la ligne; des résultats obtenus dans la pratique montrent que la productivité peut augmenter de 50 %; de plus, il n'est pas nécessaire d'interrompre toutes les opérations lorsqu'un incident mécanique survient sur l'une des machines.

Une autre considération importante est que si l'on dispose d'une chaîne entièrement automatisée (y compris le chargement et le déchargement des machines), où les opérations de délignage et d'encollage sur chants sont effectuées avec des machines dont les dimensions de travail sont programmées électriquement, il en résulte une augmentation très sensible de la productivité. La figure 11 montre

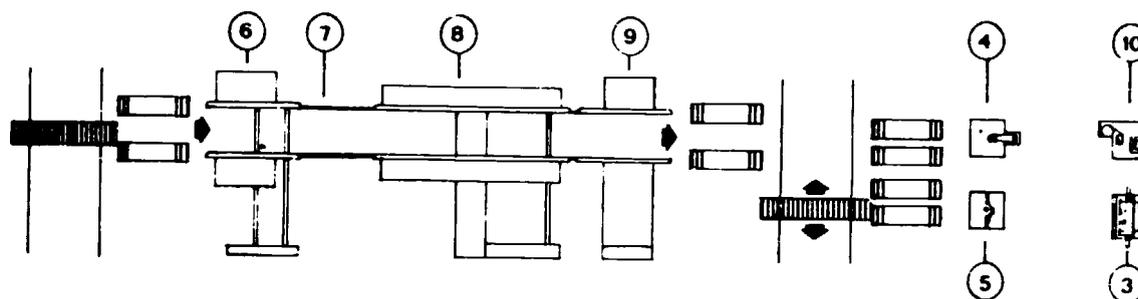
la production que l'on peut effectivement obtenir (en mètres linéaires par minute) en fonction de la longueur des pièces à usiner. La courbe montre que ce n'est que pour les pièces de plus de 150 cm de long que la productivité n'augmente pas beaucoup. Il est évident que cette considération est fondamentale, car la capacité de production change considérablement en fonction du type de meuble que l'on fabrique. En conséquence, le choix des machines et leurs caractéristiques doivent être déterminés en tenant soigneusement compte des considérations ci-dessus.

Figure 9. Agencements pour coupe de finition, assemblage sur chants et perçage

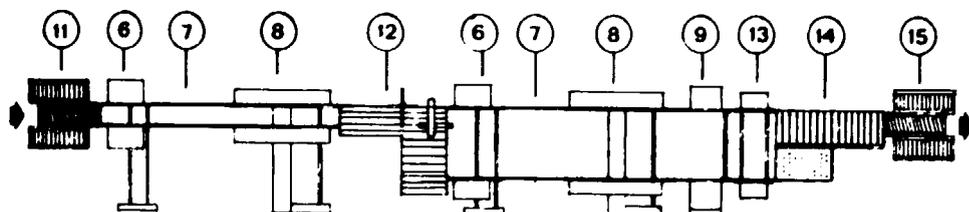
Niveau A



Niveau B



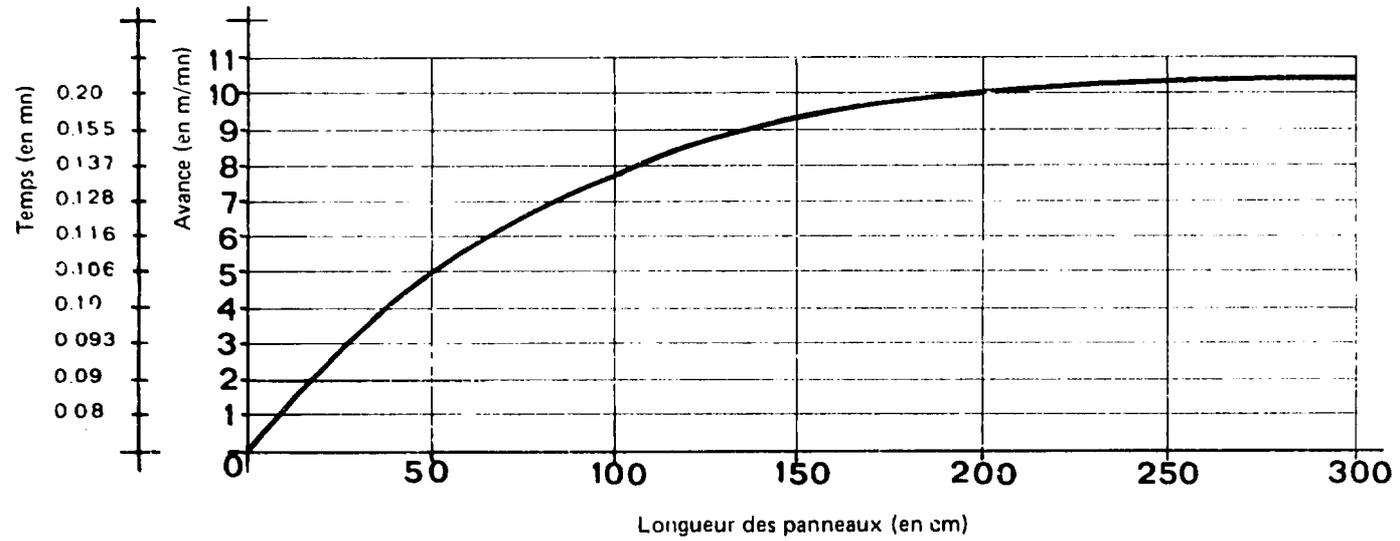
Niveau C



- Légende :*
- | | |
|--|--|
| 1 Scie à panneaux ordinaire | 9 Perceuse automatique |
| 2 Machine à assembler sur chants, à 1 tête | 10 Machine à assembler, chants courbes |
| 3 Perceuse à 1 tête | 11 Chargeur double automatique |
| 4 Défonceuse | 12 Dispositif de retournement des panneaux |
| 5 Toupie | 13 Machine à cheviller |
| 6 Déligneuse double automatique | 14 Dispositif de retournement |
| 7 Élément de liaison | 15 Déchargeur double automatique |
| 8 Machine à assembler sur chants automatique | |

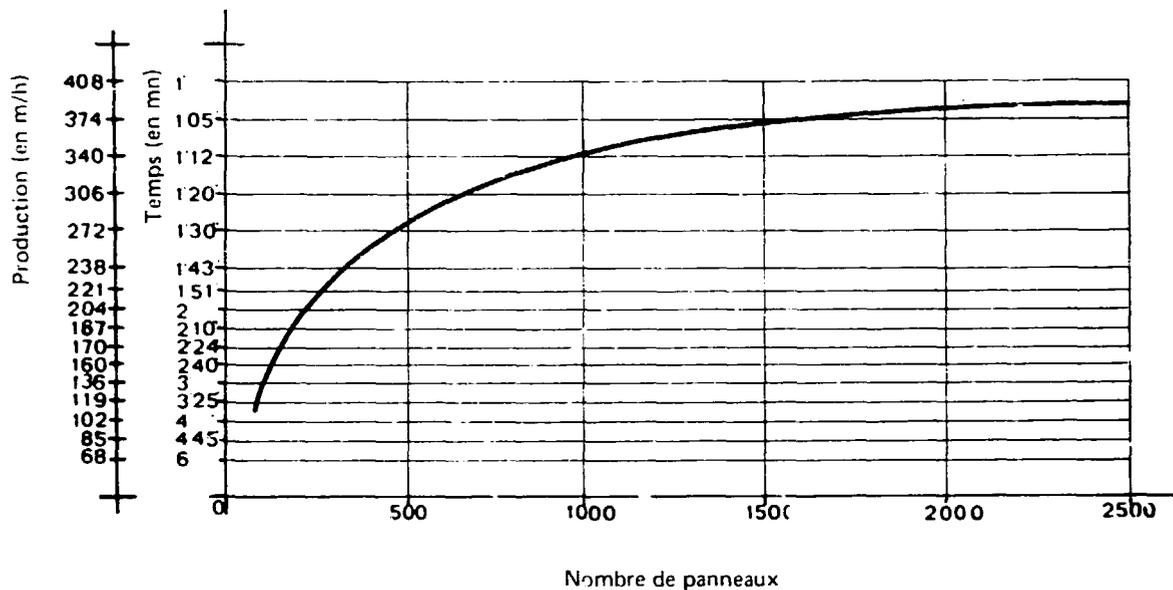
Comme on l'a déjà vu, certaines machines sont indispensables pour des travaux auxiliaires après les opérations de délignage et d'encollage sur chants. Il peut être avantageux de ne pas inclure la perceuse dans la chaîne automatisée (ou de n'y inclure qu'une perceuse simple ne travaillant que verticalement).

Figure 10. Productivité d'un poste de délignage en fonction de la longueur des panneaux



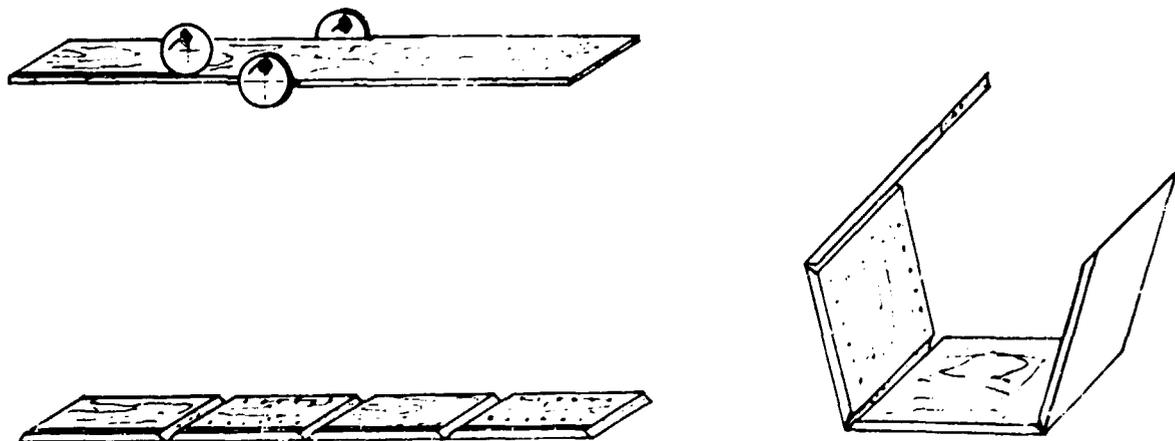
Ceci permet un outillage plus rapide de l'ensemble des machines et évite de limiter la productivité à celle de la perceuse. Les percages spéciaux peuvent être effectués à l'aide de perceuses pour usages particuliers, les pièces devant passer à ces machines étant identifiées au stade du pré-assemblage.

Figure 11. Productivité d'un poste de délignage en fonction du nombre de panneaux



Il est parfois avantageux de réaliser les côtés, le bas et le haut d'un meuble avec un seul panneau qui sera revêtu d'un papier mélaminé ou, le plus souvent, de feuilles de CPV. Dans ce cas, les opérations de délignage et d'encollage des chants ne sont faites que dans le sens longitudinal; la longueur du panneau est égale au double de la longueur et de la hauteur du meuble. Le panneau déligné et encollé sur chants est introduit dans un système linéaire intégré où sont réalisées simultanément toutes les opérations de perçage et de bouvetage nécessaires pour que le panneau puisse être replié comme l'indique la figure 12.

Figure 12. Coupe de finition et assemblage sur chants (dans le sens longitudinal seulement). Le panneau suit une filière linéaire intégrée, où il est percé, bouveté et plié pour constituer le corps d'un meuble



Vernissage

Après placage ou masticage, tous les panneaux doivent faire l'objet d'un ponçage des faces et des chants avant l'opération de vernissage. Comme on le verra plus loin, il n'est pas toujours nécessaire de procéder au vernissage de tous les panneaux avant leur assemblage : pour certains types de finition, on peut faire suivre le ponçage du montage, et ne procéder au vernissage qu'en fin de cycle. Les procédés et les installations nécessaires varient sensiblement selon le niveau de production. Ils varient aussi selon le produit de vernissage utilisé. Etant donné que la question est traitée en détail au chapitre XV, on se limitera ici à un exposé du problème du point de vue des niveaux de production.

Niveau A. — Le ponçage des faces et des chants peut être effectué avec une ponceuse à bande manuelle; la même ponceuse servira au ponçage avant et après vernissage. Toutes les opérations de finition : teinture, couches de fond, couche finale, sont effectuées dans une cabine équipée d'une paroi de filtrage et d'un dispositif d'aspiration pour évacuer tous les résidus en suspension dans l'air ambiant du fait de la projection par pistolet à air comprimé. Après vernissage, les panneaux sont posés sur des supports appropriés, pour permettre la catalysation des vernis à l'air libre.

Niveau B. — Le ponçage avant et après vernissage peut être effectué avec une machine automatique indépendante, choisie en fonction du support et du produit de vernissage. Comme on l'a vu précédemment, le ponçage des chants à l'état brut est effectué sur une encolleuse équipée d'un dispositif de ponçage. Pour les chants non rectilignes, il faut utiliser une ponceuse pour courbes et pièces de forme, chaque panneau devant passer sur cette machine autant de fois qu'il y a de chants non rectilignes à poncer. Le vernissage des chants est fait sur un empilement de panneaux, dans la cabine de vernissage; le séchage s'effectue à l'air libre. Pour le vernissage des faces, on peut utiliser une installation semi-automatique, qui peut être conçue de la façon suivante :

- a) Une brosseuse-teinteuse, pour l'application d'une couche de teinture;
- b) Un four de séchage (aux rayons infrarouges ou à air chaud);
- c) Une machine à vernir à rouleaux, pour l'application de la couche de fond;
- d) Un séchoir à vernis (aux infrarouges ou à air chaud), selon le type de produit de vernissage;
- e) Une machine à poncer et à polir;
- f) Une machine à vernir à rideaux, simple ou double;
- g) Un transporteur à cadres.

A la sortie de la machine à vernir, les panneaux sont placés sur le transporteur à cadres, qui leur fait traverser un séchoir-tunnel. La première chambre du tunnel est maintenue à une température relativement basse, pour l'évaporation des solvants; le séchage proprement dit a lieu dans la deuxième chambre du tunnel, qui est maintenue à une température plus élevée. Le refroidissement des panneaux a lieu à l'air libre ou dans une troisième chambre du tunnel, où s'exerce une ventilation forcée. Après vernissage, les chants sont polis avec une machine à une tête.

La couche de finition peut être appliquée, avec la même installation, sur des panneaux non assemblés ou sur le meuble fini. La figure 13 donne une représentation schématique d'agencements possibles.

Niveau C. — Après vernissage des chants de panneaux empilés et séchage ultérieur, les panneaux sont introduits dans une installation automatique de vernissage des faces. Cette installation peut être composée comme suit :

- a) Un dispositif de chargement, pour disposer les panneaux en double file;
- b) Une ponceuse à deux ou trois bandes croisées, pour le ponçage des faces plaquées;
- c) Une ou plusieurs machines à rouleaux pour l'application d'une teinture et de la couche de fond, comme pour le niveau B, la seule différence résidant dans le nombre de machines à vernir et de séchoirs; l'objectif primordial est d'obtenir la meilleure finition possible avec un minimum de couches de produit de vernissage; les dimensions et la capacité des fours sont proportionnelles à la productivité des machines à vernir, afin d'assurer un séchage parfait des panneaux avant les opérations ultérieures;
- d) Une ponceuse pour le ponçage intermédiaire de la couche de fond;
- e) Une brosseuse pour rendre les surfaces parfaitement propres;
- f) Un dispositif de positionnement des panneaux avant leur passage devant la vernisseuse à rideaux;

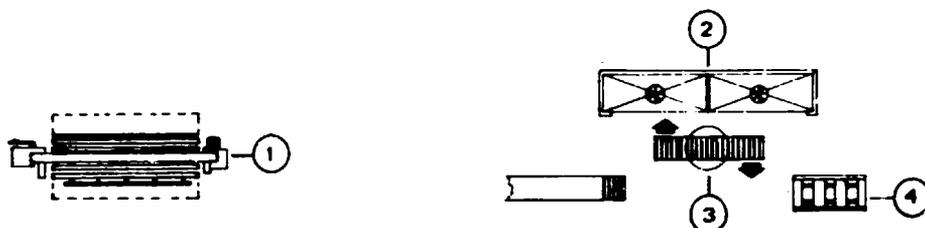
g) Une vernisseuse à rideaux, avec des transporteurs spéciaux pour synchroniser le vernissage avec un chargement complet du séchoir:

h) Un dispositif de chargement du séchoir, le cas échéant;

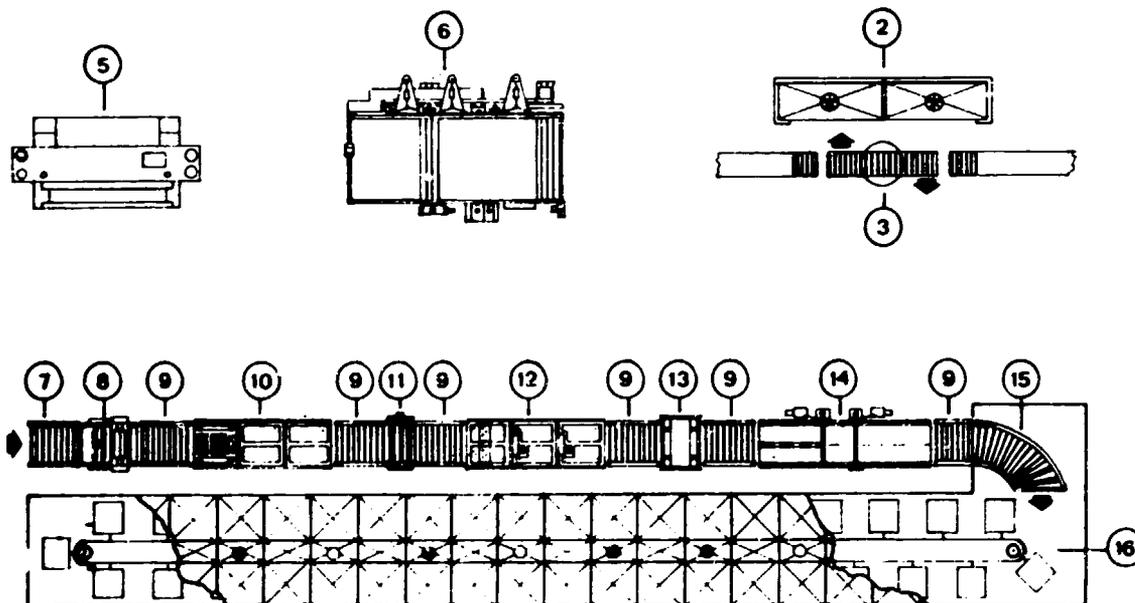
i) Un séchoir à plusieurs étages, avec réglage des températures dans les deux chambres de séchage, en fonction du produit de vernissage utilisé; le séchoir comporte également une chambre de refroidissement et un dispositif de déchargement.

Figure 13. Agencements pour le vernissage

Niveau A



Niveau B



- | | |
|--|--|
| <p><i>Légende</i></p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Ponçeuse à bande manuelle 2 Cabine de vernissage 3 Table tournante 4 Chariots suspendus 5 Ponçeuse automatique 6 Ponçeuse pour chants, à 1 tête 7 Dispositif d'alimentation 8 Brosseuse | <ul style="list-style-type: none"> 9 Élément de liaison 10 Séchoir à air chaud 11 Machine à vernir 12 Séchoir à ultraviolets 13 Machine à poncer et dépolir 14 Machine à vernir par rideaux 15 Dispositif d'évacuation 16 Séchoir à chariots suspendus |
|--|--|

Les panneaux sont ensuite envoyés dans une installation de ponçage-polissage du vernis. Cette installation peut comprendre une batterie de ponçuses à bandes croisées pour le ponçage des faces et d'une batterie de ponçuses doubles pour le ponçage des chants.

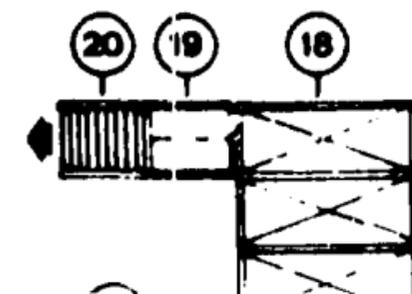
Le vernis de finition peut être appliqué dans une installation distincte, comportant une ca'andre vibrante pour enlever les poussières et supprimer d'éventuelles éraflures sur le vernis, une brosseuse, une machine à vernir à rideaux et un séchoir (linéaire ou rotatif).

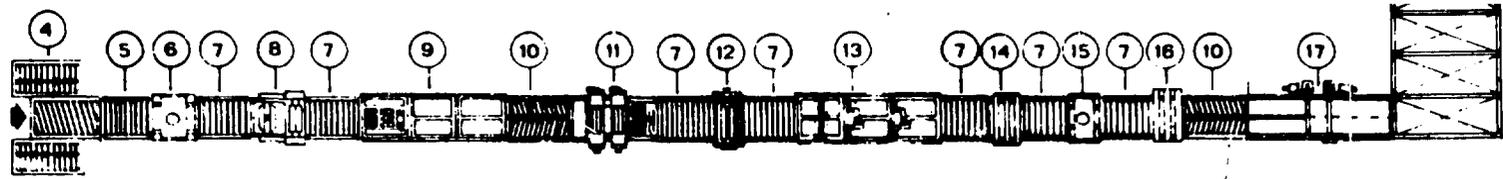
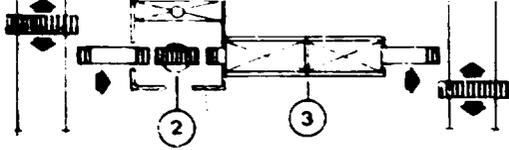
Figure 14. Agencements pour le vernissage (niveau C)

Vernissage des chants

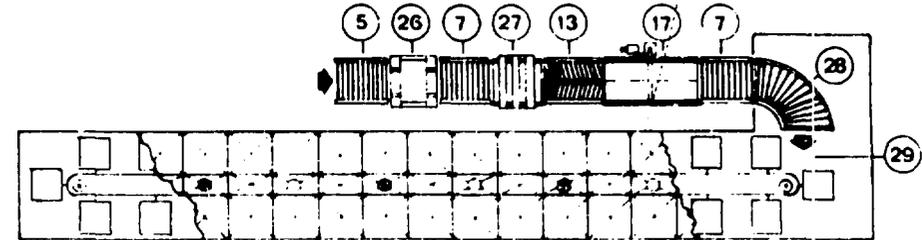
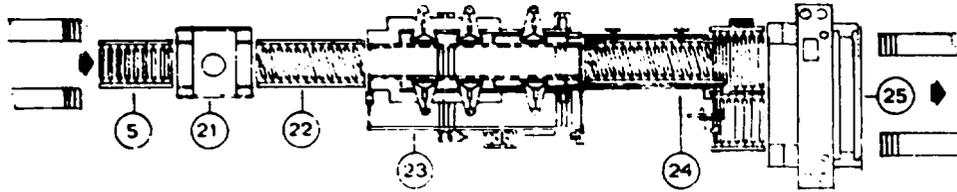


Vernissage des faces (couche de fond)





Vernissage des faces (finition)



- Légende :*
- 1 Cabine de vernissage
 - 2 Table tournante
 - 3 Séchoir
 - 4 Chargeur double automatique
 - 5 Dispositif d'alimentation
 - 6 Ponceuse à bande
 - 7 Élément de liaison
 - 8 Machine à broser et à teinter
 - 9 Séchoir à air chaud
 - 10 Transporteur à rouleaux en chevrons

- 11 Machine à imprimer
- 12 Machine à vernir
- 13 Séchoir à ultraviolets
- 14 Machine à broser
- 15 Ponceuse automatique
- 16 Machine à dépeussier
- 17 Machine à vernir par rideaux
- 18 Séchoir à étages
- 19 Table de contrôle
- 20 Dispositif d'évacuation

- 21 Ponceuse transversale
- 22 Glissière à rouleaux
- 23 Ponceuse de chants double
- 24 Dispositif de retournement des panneaux
- 25 Ponceuse longitudinale
- 26 Calandre vibrante
- 27 Machine à dépeussier
- 28 Transporteur courbe vers 29
- 29 Séchoir à chariots suspendus

Tant pour le niveau B que pour le niveau C, on peut inclure dans la chaîne, après la phase de teinture, une machine à imprimer qui reproduira un grain déterminé. Ce procédé d'ennoblissement peut être utilisé sur des supports mastiqués avec un produit polyester ou, pour obtenir un meilleur effet, sur des panneaux revêtus d'un placage bon marché. Le grand avantage de ce procédé, outre une réduction substantielle des coûts, est de rendre les faces des panneaux parfaitement uniformes, caractéristique très appréciée dans la production en grandes séries d'éléments modulaires. L'application de la couche de fond sur la surface imprimée est possible après une brève dessiccation; les deux opérations peuvent donc être entièrement automatisées. La figure 14 donne une représentation schématique d'un agencement possible pour le niveau C.

Préassemblage, assemblage, conditionnement

On a exposé successivement les opérations nécessaires pour préparer les panneaux en vue de leur assemblage pour obtenir un meuble fini. Indépendamment des quantités, la programmation d'un cycle de fabrication peut être schématisée par des diagrammes de flux pour cinq types de fabrication, depuis la commande jusqu'à la livraison :

- a) Fabrication sur commande, avec avancement intégral du lot pendant tout le cycle de travail, y compris l'assemblage et le contrôle du stock de produits finis;
- b) Fabrication sur commande, avec avancement intégral du lot pendant tout le cycle de travail, y compris l'assemblage en ce qui concerne les corps de meubles; les façades sont réalisées en fonction de la demande; contrôle du stock de produits finis;
- c) Fabrication sur commande, avec avancement intégral du lot jusqu'au stade de préassemblage; l'assemblage est fonction des demandes d'expédition, avec un programme de périodes; contrôle du stock de produits semi-finis;
- d) Fabrication d'éléments, avec contrôle du stock de produits semi-finis; assemblage en fonction des demandes d'expédition, avec un programme de périodes;
- e) Fabrication intégrale, y compris l'assemblage, en fonction des demandes d'expédition, avec un programme de périodes.

La figure 15 donne une représentation schématique des différents flux.

On peut en déduire aisément que les procédés et méthodes d'assemblage sont très divers. On traitera tout d'abord de l'assemblage et du conditionnement de meubles avec des panneaux finis, c'est-à-dire revêtus d'un produit de vernissage ou stratifiés mélaminés ou du CPV; on traitera ensuite brièvement la question des panneaux non finis.

Niveau A. — Tous les accessoires, ferrures, corniches et guides de tiroirs doivent être appliqués sur un établi avec des outils à main (tournevis, foreuses, agrafeuses, etc.). Ensuite, les panneaux peuvent suivre deux voies différentes : ou bien être conditionnés en vrac, ou bien être assemblés. Dans le premier cas, ils sont placés dans un emballage de protection en carton, en polystyrène ou en polyester; les panneaux seront ensuite assemblés par l'utilisateur. Dans le deuxième cas, on assemble le corps en utilisant de la colle vinylique et une presse pneumatique à cadres pour assurer l'équerrage; on monte ensuite les portes et les tiroirs précédemment assemblés; le meuble fini est ensuite placé dans un emballage de protection.

Niveaux B et C. — Il faut disposer de machines et d'outils spéciaux, que l'on choisira en tenant compte des règles suivantes :

- a) Eviter toutes les manutentions inutiles de matériaux;
- b) Stocker tous les produits semi-finis à proximité de la ligne d'assemblage, de manière à occuper le minimum d'espace et à faciliter le prélèvement;
- c) Eviter les déplacements d'éléments à même le sol et le prélèvement de produits semi-finis après leur mise en place sur la ligne d'assemblage;
- d) Effectuer toutes les opérations de préassemblage, d'assemblage et de conditionnement (qu'elles soient manuelles ou mécaniques) pendant le mouvement du meuble le long de la ligne d'assemblage;
- e) Effectuer pendant le préassemblage les opérations de fraisage qui n'avaient pas été faites auparavant, selon le programme de montage établi.

Figure 15. Principaux diagrammes de flux

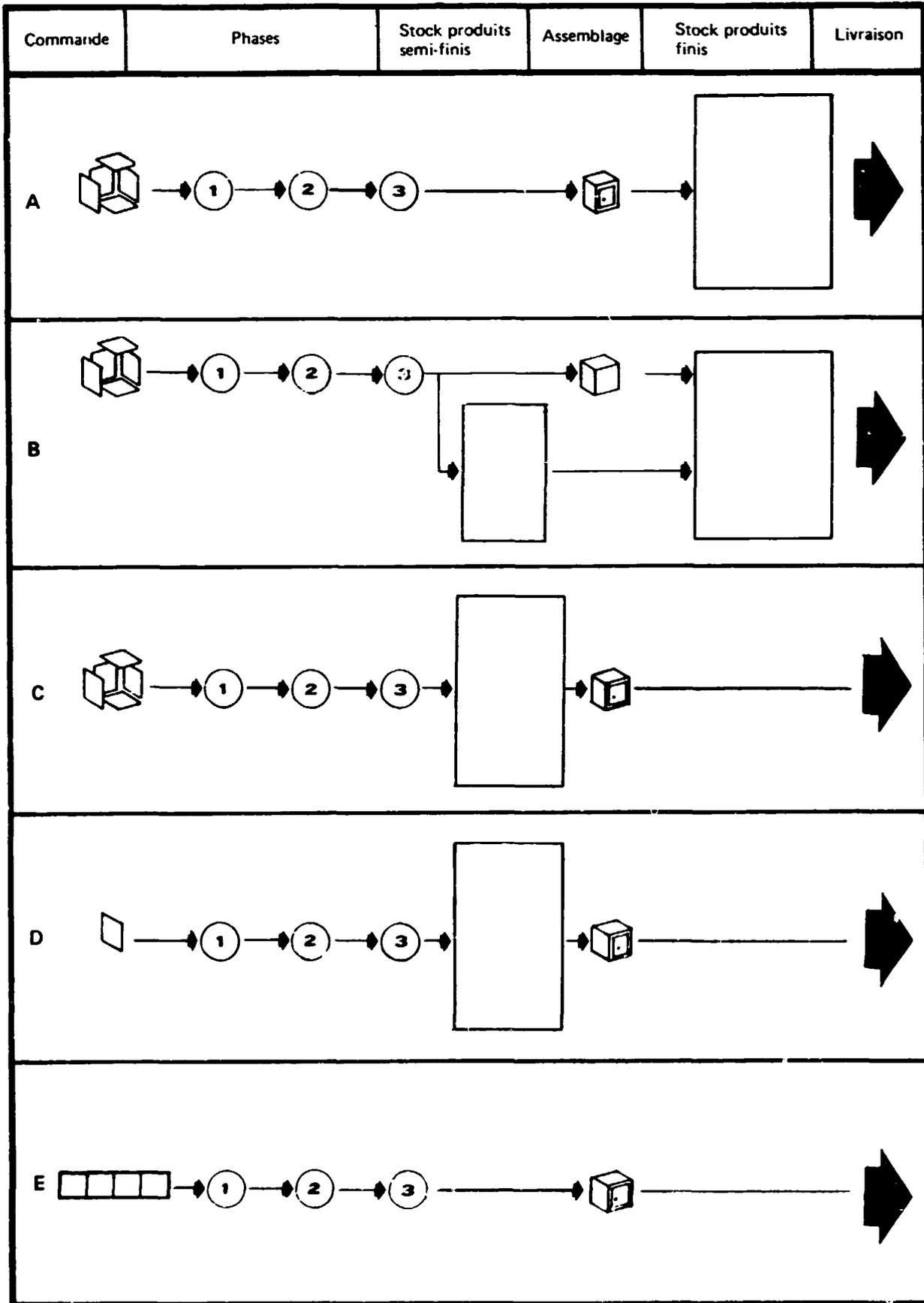
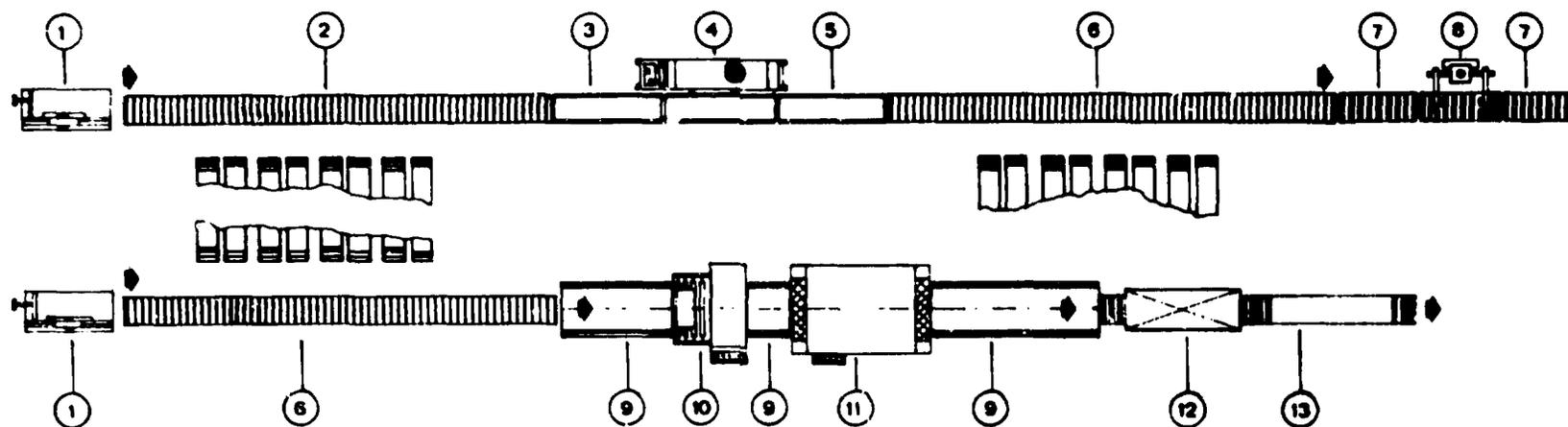


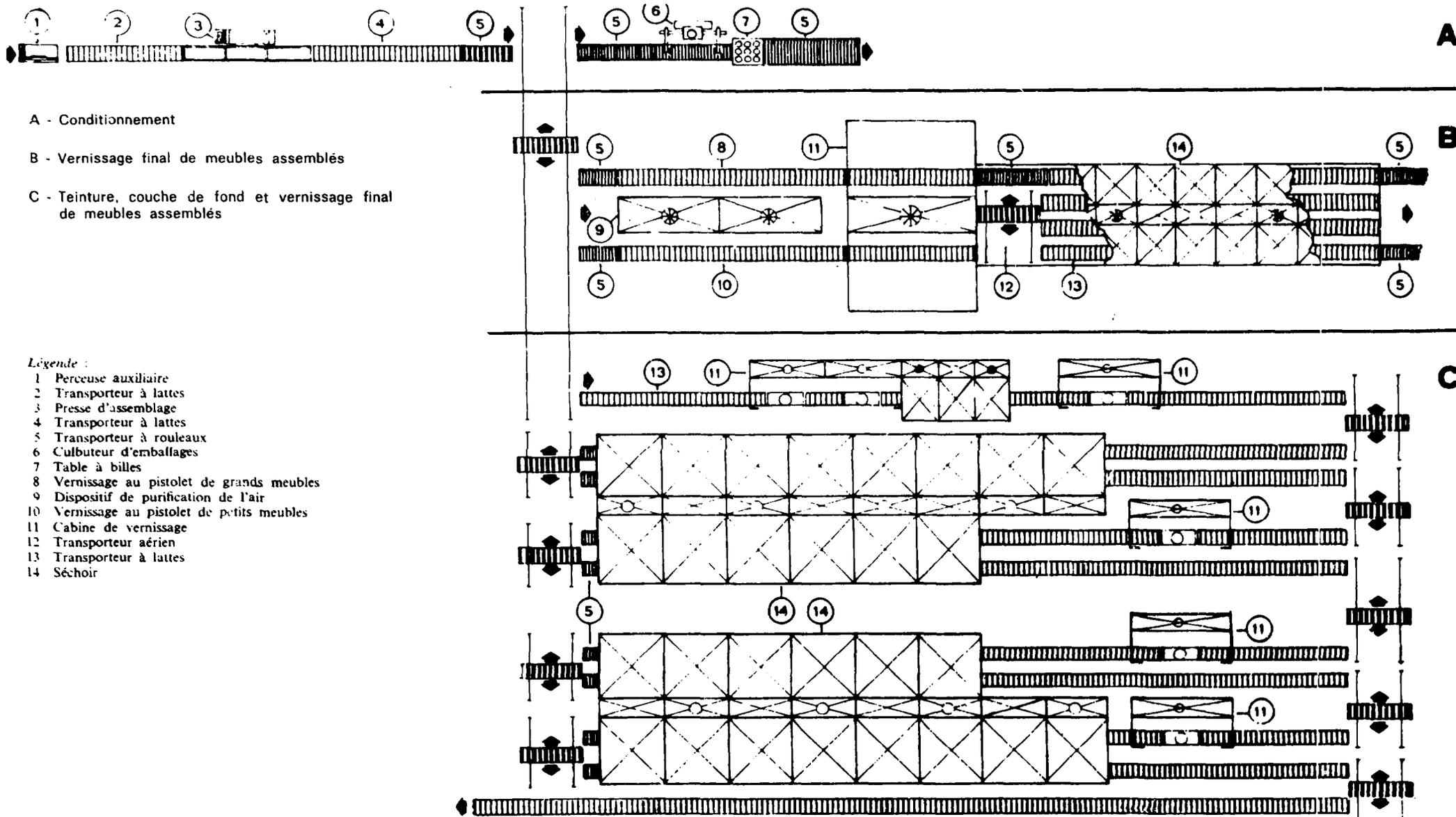
Figure 16. Agencements pour l'assemblage et le conditionnement (meubles à panneaux finis)

Niveaux B et C



- Légende :*
- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 Perceuse auxiliaire | 8 Culbuteur d'emballages |
| 2 Transporteur à lattes | 9 Transporteur à bande |
| 3 Table de chargement | 10 Dérouleuse de film thermorétractable |
| 4 Presse automatique d'assemblage | 11 Four électrique |
| 5 Table de déchargement | 12 Table élévatrice |
| 6 Transporteur à lattes | 13 Transporteur à rouleaux |
| 7 Transporteur à rouleaux libres | |

Figure 17. Agencements pour l'assemblage et le conditionnement de meubles à panneaux non finis



La ligne d'assemblage peut comporter les machines et outillages suivants :

- a) Machines à poser automatiquement les chevilles;
- b) Machines pour procéder aux fraisages auxiliaires et, éventuellement, pour poser automatiquement certaines ferrures;
- c) Transporteurs à bande ou à grille, à vitesse variable, pour les travaux de préassemblage; des structures disposés de manière appropriée le long des transporteurs supportent des outils pneumatiques et des boîtes contenant des quincailleries diverses, de sorte que l'opérateur ait à portée de la main les pièces à poser et l'outil nécessaire;
- d) Presses à cadres pour l'équerrage du produit;
- e) Culbuteurs automatiques;
- f) Transporteurs avec table élévatrice (à commande manuelle ou automatique), pour le montage des portes, tiroirs et autres éléments sur le corps du meuble qui avance à une vitesse préétablie.

À la fin de la ligne d'assemblage, les meubles doivent être protégés de manière appropriée contre les dommages qu'ils pourraient subir lors des diverses manipulations avant la livraison; en particulier, pour les meubles plaqués, la protection doit garantir que l'exposition à la lumière n'altérera pas la tonalité du bois. Les meubles sont normalement placés dans des emballages en carton, les arêtes étant protégées avec des cornières en polystyrène et les faces fragiles avec du papier ouaté. Les cartons peuvent être fermés avec des feuillets ou des enrubanneuses automatiques. Pour tous les meubles dont les surfaces ne sont pas vernies et, en particulier, pour les éléments non assemblés, le meilleur conditionnement est en polyéthylène thermorétractable : l'article à conditionner est enveloppé à l'aide d'un dispositif comprenant une dérouleuse automatique, une jointeuse et un four électrique; à la température d'environ 200 °C, la feuille de polyéthylène se rétracte et adhère étroitement aux surfaces à protéger. La figure 16 donne le schéma d'un agencement pour l'assemblage et le conditionnement de meubles en panneaux finis.

Les panneaux non finis peuvent être divisés en deux catégories : les panneaux plaqués, poncés et ayant reçu une couche de fond; les panneaux plaqués et simplement poncés. Les premiers sont assemblés comme décrit ci-dessus. Après assemblage, les meubles sont transportés dans une cabine de vernissage pressurisée, où la couche de finition est appliquée à l'aide d'un pistolet. Les meubles sont ensuite transportés dans un séchoir. Le conditionnement est fait comme expliqué ci-dessus. Les panneaux simplement poncés sont assemblés pour obtenir des meubles à l'état brut. Toutes les opérations de teinture, d'application de la couche de fond, de ponçage et de vernissage final sont effectuées sur le meuble assemblé; ceci permet d'obtenir des finitions particulières, telles que l'imitation d'antique, etc.

Pour la production en grande série, toutes les opérations ci-dessus ont lieu en succession, le meuble avançant à une vitesse donnée sur un transporteur à bande et traversant les cabines de vernissage et les séchoirs, comme l'indique la figure 17. Les meubles sont ensuite conditionnés comme les autres.

XIX. Choix de l'équipement d'une parqueterie*

Dans la création d'une parqueterie, il faut tenir compte de nombreux facteurs sociaux, écologiques et techniques.

Les facteurs techniques ci-après sont particulièrement importants :

- a) Matières premières (bois) dont on pourra disposer pendant les 10, 20 ou 30 années suivantes;
- b) Dimensions et caractéristiques du bois disponible;
- c) Conditions climatiques du lieu d'implantation et des pays d'utilisation des parquets, notamment du point de vue des variations d'hygrométrie et de température;
- d) Types de parquet à fabriquer : traditionnel (lames à rainures et languettes) ou moderne (parquet-mosaïque).

Un autre facteur important est la possibilité de recevoir une assistance technique adéquate du fournisseur de l'équipement, pour la formation initiale des cadres et du personnel chargé du fonctionnement et de l'entretien des machines, qui devront toujours être en parfait état de marche.

Les indications qui vont être données pour l'équipement d'une parqueterie reposent sur les hypothèses suivantes :

- La parqueterie a une production mixte (parquets traditionnels et modernes)
- Elle ne fait pas de préfabriqués
- Le climat est tropical (chaud et humide)
- Le bois disponible est constitué de rebuts de scierie ou de planches de qualité médiocre, inutilisables dans la fabrication de produits plus rémunérateurs
- Le bois a des caractéristiques moyennes (il ne faut pas oublier que les bois particulièrement durs ou contenant de la silice exigent des outils spéciaux)
- La production annuelle est d'environ 250 000 m² de parquet-mosaïque et de 500 000 m² de lames à rainures et languettes
- Des conseillers techniques sont disponibles pour mettre le personnel local en mesure d'assurer la marche de la parqueterie à plein rendement.

Equipement

Sciage

Dans l'hypothèse que les planches à usiner ont une épaisseur constante et uniforme, la parqueterie doit avoir :

- a) Une déligneuse normale, pour dresser les chants;
- b) Une ou plusieurs scies circulaires pour tronçonner les planches à la longueur voulue, en fonction de la qualité du bois et des exigences de travail.

* Par G. Gazzotti, expert-conseil en parqueterie. (Version revue et corrigée du document ID/WC.277/15.)

Ces scies peuvent être à la main, semi-automatiques ou automatiques. Le bois de qualité supérieure sera utilisé pour la fabrication de lames de parquet traditionnel; le bois de qualité inférieure sera utilisé pour la réalisation de parquet-mosaïque.

Il faut également des scies à ruban pour découper les planches à la largeur voulue pour obtenir des lames. On peut utiliser des scies circulaires monolame, mais pour la production en grande série on préférera naturellement des scies circulaires multilames. Ces dernières exigent moins de main-d'œuvre, mais impliquent une plus grande perte de bois. On trouve sur le marché des scies circulaires multilames à deux arbres, qui peuvent scier des planches ayant jusqu'à 120 mm d'épaisseur.

Séchage artificiel

Si les planches de bois, découpées longitudinalement et transversalement, sont encore trop humides, il faut les laisser « vieillir » à l'air libre dans un local couvert. Il est préférable de les empiler sur des palettes, en vue de leur transport ultérieur dans les fours de séchage artificiel. Les fours peuvent être préfabriqués en panneaux métalliques, ou construits sur place en béton ou en briques.

Pour épargner de la main-d'œuvre, certaines entreprises ont l'habitude de mettre les planches de bois en vrac dans des containers en grille métallique, qui sont ensuite transportés dans les fours de séchage; ce procédé est surtout utilisé pour le séchage des planches destinées à la fabrication de parquets-mosaïques.

Le cycle de séchage est fonction, d'une part, des caractéristiques du bois et, d'autre part, des installations elles-mêmes. Les fours de séchage sont normalement chauffés par des chaudières qui brûlent de la sciure, des copeaux et des rebuts des divers usinages, le fluide caloporteur étant de l'air chaud, de l'eau chaude ou de la vapeur. Lorsque l'humidité du bois a été amenée au degré voulu, les planches sont stockées, à la température ambiante, pendant une ou deux semaines; la durée de ce repos dépend des caractéristiques du bois, notamment des tensions internes. Le séchage du bois est traité de manière plus détaillée au chapitre X.

Fabrication de parquet-mosaïque

Le choix des machines dépend essentiellement de leur coût et de l'uniformité des dimensions du bois à usiner. On peut utiliser des machines à moulurer sur quatre faces, qui permettent de dégauchir, raboter et dresser sur chants en une seule passe; on peut aussi utiliser des machines à raboter équipées de porte-outils spéciaux. Parfois, le bois est coupé à la longueur voulue avant le rabotage; parfois, les planches sont d'abord tronçonnées, puis rabotées. La productivité d'une installation peut varier de 200 à 800 m² par jour, selon la main-d'œuvre employée et le rendement des bois utilisés; la productivité dépend aussi de la longueur des lamelles de bois, qui varie actuellement de 120 à 160 mm.

Les lamelles obtenues après ce premier usinage doivent être assemblées pour constituer des panneaux carrés; l'assemblage est réalisé sur du papier collant ou sur un filet en matière plastique. Lors du choix de l'équipement, il faut prêter la plus grande attention au degré d'automatisation: une installation très sophistiquée permettra une plus grande production avec une main-d'œuvre réduite, mais elle risque de poser des problèmes d'assistance technique et de se révéler trop onéreuse, même dans des pays développés.

Fabrication de parquet traditionnel

Le choix des machines nécessaires pour usiner des frises et des lames doit tenir compte, non seulement de leur coût et de l'uniformité des dimensions du bois utilisé, mais aussi des caractéristiques du bois: dureté, présence d'inclusions minérales et de résines, etc. Un autre facteur important, bien qu'il puisse paraître négligeable à première vue, est le nombre de frises de 24 mm d'épaisseur qui sera nécessaire pour usiner un nombre déterminé de lames à rainure et languette. Ces divers éléments influent énormément sur les caractéristiques et le poids des machines, ainsi que sur les moteurs nécessaires pour les actionner.

En vue de réduire les frais de main-d'œuvre, les installations pour la fabrication de parquet traditionnel sont normalement équipées d'un magasin d'alimentation, d'une machine à raboter et à dresser sur chants (indispensable quand le bois est de qualité médiocre), d'une machine à moulurer à au moins quatre broches (deux horizontales et deux verticales) et une scie circulaire double pour la coupe en bout.

Emballage

Pour les parquets-mosaïques, on utilise généralement des boîtes en carton ondulé ou des films en matière plastique thermorétractable, ou parfois les deux procédés en même temps.

Pour les lames de parquets traditionnels, l'emballage le plus courant est le cerclage en fil métallique ou plastique; dans certains cas, on utilise les feuillets en matière plastique (renforcés ou non), le film en matière plastique thermorétractable ou même les boîtes en carton ondulé.

L'emballage est effectué à la fin de chaque ligne de production, afin de simplifier les manutentions et les transferts à l'intérieur de la parqueterie. Dans certains cas, on peut réduire les frais de main-d'œuvre en faisant l'emballage dans un atelier indépendant, à l'aide de machines modernes.

D'un point de vue strictement technique, il ne faut pas oublier que le bois emballé dans des boîtes en carton ou simplement cerclé de fils métalliques ou autres s'adaptera progressivement aux conditions d'humidité et de température du lieu d'utilisation, alors que cette adaptation sera très brutale pour le bois emballé sous films plastiques thermorétractables; si l'on a recours au second type d'emballage, on évitera des problèmes fâcheux en faisant subir au bois un traitement approprié avant l'emballage.

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel a établi les documents ci-après sur diverses utilisations du bois; certains de ces documents sont en vente en tant que publications des Nations Unies :

- ID/10 *Techniques du bois dans la construction de logements adaptés aux besoins des pays en voie de développement. Rapport du Groupe d'étude, Vienne, 17-21 novembre 1969*
Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.70.II.B.32
- ID/61 *Production de maisons préfabriquées en bois*
Keijo N. E. Tiusanen
Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.71.II.B.13
- ID/72 *Le bois en tant que matériel d'emballage dans les pays en voie de développement*
B. Hochart
Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.72.II.B.12
- ID/79 *Fabrication de panneaux à partir de résidus agricoles. Rapport de la réunion d'experts tenue à Vienne (Autriche) du 14 au 18 décembre 1970*
Publication des Nations Unies, numéro de vente : F.72.II.B.4
- ID/133 *Choix des machines à utiliser pour le travail du bois. Rapport d'une réunion technique, Vienne, 19-23 novembre 1973*
- ID/154 *L'automation à coût modéré dans l'industrie du meuble et de la menuiserie*
- ID/180 *Le travail du bois dans les pays en voie de développement. Rapport sur les Journées d'études, Vienne, 3-7 novembre 1975*
- UNIDO/LIB/SER.D/4 *UNIDO Guides to Information Sources No. 4 : Information Sources on the Furniture and Joinery Industry*
- UNIDO/LIB/SER.D/6 *UNIDO Guides to Information Sources No. 6 : Information Sources on Industrial Quality Control*
- UNIDO/LIB/SER.D/9 *UNIDO Guides to Information Sources No. 9 : Information Sources on Building Boards from Wood and other Fibrous Materials*
- ID/214
UNIDO/LIB/SER.D/31 *UNIDO Guides to Information Sources No. 31 : Information Sources on Woodworking Machinery*
- ID/234
UNIDO/LIB/SER.D/35 *UNIDO Guides to Information Sources No. 35 : Information Sources on the Utilization of Agricultural Residues for the Production of Panels, Pulp and Paper*
- ID/236
UNIDO/LIB/SER.D/36 *UNIDO Guides to Information Sources No. 36 : Information Sources on Industrial Maintenance and Repair*

Printed in Italy

80-44952 - May 1982 - 1,500

ID/267

