



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> 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](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

ID/154/Rev.1

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

06948 - F

**L'AUTOMATION  
A COUT MODERE  
DANS  
L'INDUSTRIE DU MEUBLE  
ET DE LA MENUISERIE**

1507



**NATIONS UNIES**

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL**  
Vienne

**L'AUTOMATION  
A COUT MODERE  
DANS L'INDUSTRIE DU MEUBLE  
ET DE LA MENUISERIE**



**NATIONS UNIES**  
New York, 1982

Le texte de la présente publication peut être reproduit partiellement ou en totalité mais avec indication de source. Toute personne faisant usage de ces textes est priée de bien vouloir communiquer un exemplaire de la publication contenant le passage cité ou le texte reproduit.

## PREFACE

Pour faire face efficacement à la demande et à la concurrence, l'industrie du meuble et de la menuiserie dans les pays en développement doit moderniser son équipement et ses méthodes. Toutefois, le capital disponible dans les pays en développement est limité. L'automation à coût modéré peut donc aider à résoudre ces problèmes.

En général, le terme "automation" évoque des systèmes ultraperfectionnés, des commandes électroniques, une programmation sur ordinateur et, ce qui suffit à décourager les petites et moyennes entreprises de menuiserie ou de fabrication de meubles, des dépenses importantes. Nous espérons que le présent manuel aidera à rectifier ces idées erronées. Ce manuel a également pour objectif de démontrer aux fabricants de meubles et aux entrepreneurs de menuiserie qu'ils peuvent bénéficier des avantages de l'automation dans leurs usines pour un coût relativement modeste et que leur propre personnel peut réaliser l'installation des dispositifs d'automation, généralement sur les machines existantes.

La disposition du présent exposé est telle que les chapitres I à III et peut-être IV et VIII intéresseront principalement les dirigeants tandis que les chapitres IV à VIII seront surtout utiles pour les techniciens et les ingénieurs. Le chapitre IX sera intéressant pour ces trois catégories de lecteurs, quoique à des titres différents. Les annexes contiennent l'explication des symboles utilisés dans les nombreux schémas qui illustrent le texte et une liste des prix approximatifs des éléments pneumatiques. Une bibliographie des ouvrages consultés pour la préparation du présent manuel a été établie à l'intention des lecteurs désireux d'obtenir des informations plus détaillées.

Les opinions exprimées dans ce manuel sont celles des auteurs, W.J. Santiano un consultant en automation à coût modéré, et H.P. Brion, un expert en fabrication de meubles et en menuiserie, qui travaillent tous deux aux Philippines. Ces vues ne correspondent pas nécessairement à celles du secrétariat des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

Cette édition révisée a été préparée de façon à y inclure les éléments nouveaux préparés par H.P. Brion pour un séminaire de l'ONUDI tenu à Beijing, Chine, en avril 1981.

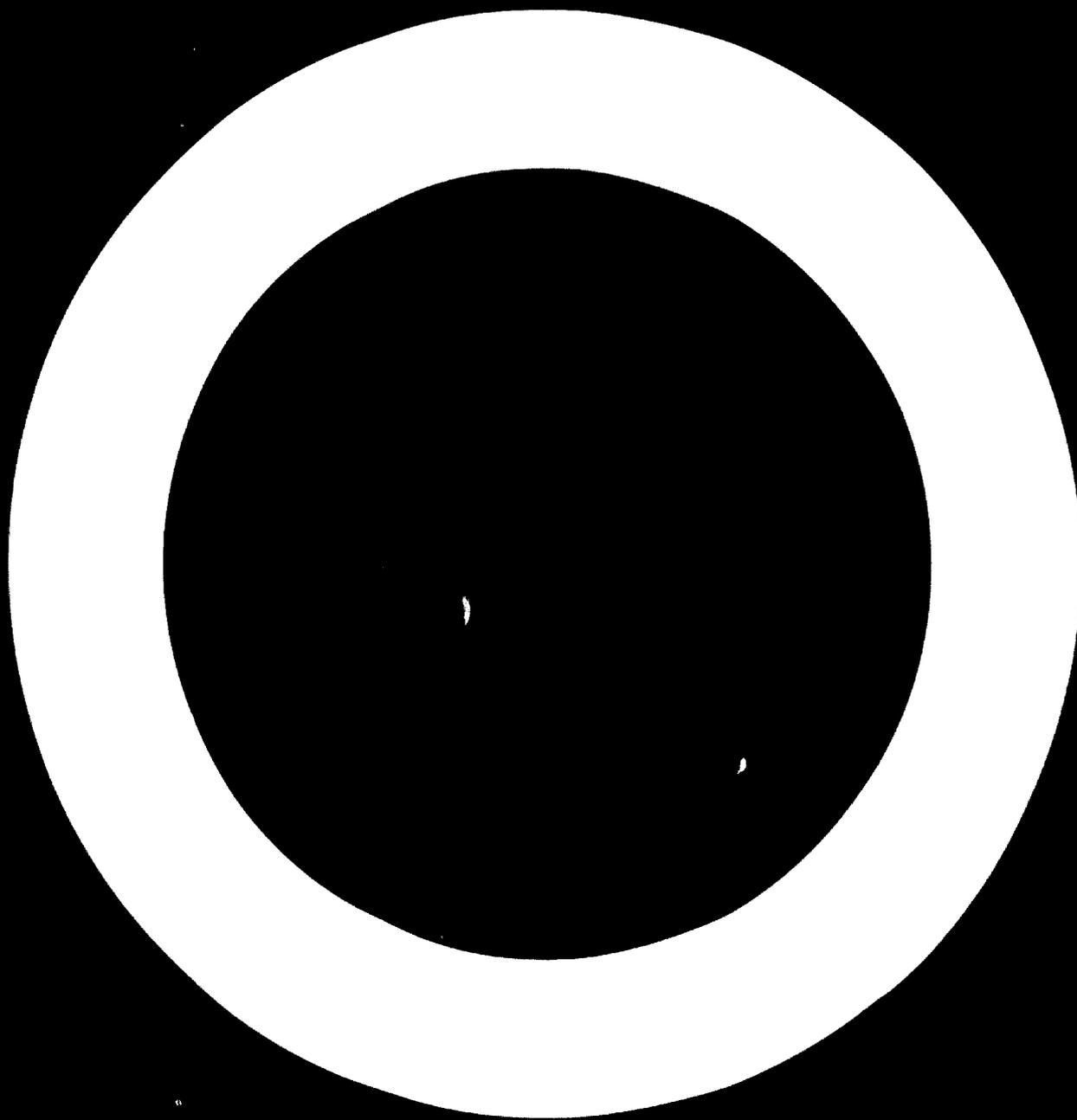


TABLE DES MATIERES

Chapitre	Page
I. L'AUTOMATION A COUT MODERE.....	1
A. Définition générale de l'automatation à coût modéré.....	1
B. Pourquoi l'automatation à coût modéré est-elle économique ?....	1
II. CE QUE L'AUTOMATION A COUT MODERE PEUT AMELIORER.....	5
A. Qualité du produit.....	5
B. Utilisation de la main-d'oeuvre.....	7
C. Utilisation des matériaux.....	9
D. Utilisation des machines déjà en place.....	9
E. Sécurité.....	11
III. L'ANALYSE DES BESOINS EN AUTOMATION A COUT MODERE.....	13
A. Le point de vue du chef d'entreprise.....	13
Considérations économiques.....	13
Conditions techniques.....	14
Besoins en personnel.....	14
Compétences des cadres.....	14
B. Le point de vue de l'ingénieur.....	14
C. L'application de l'automatation à coût modéré par la méthode analytique : un exemple concret.....	18
D. Principes généraux de l'analyse des besoins.....	20
E. Besoins de l'automatation à coût modéré propres à l'industrie du meuble et de la menuiserie.....	21
Manutention des matériaux.....	21
Mise en place.....	22
IV. LES PRINCIPAUX PROCEDES D'AUTOMATION A COUT MODERE.....	23
A. Procédés mécaniques.....	24
B. Procédés pneumatiques.....	26
C. Procédés hydrauliques.....	29
D. Procédés électriques.....	32
E. Procédés électroniques.....	34
V. COMMENT CHOISIR LES ELEMENTS D'UN SYSTEME D'AUTOMATION A COUT MODERE.....	35
A. Eléments pneumatiques.....	36
Terminologie.....	36
Eléments du système d'alimentation en air comprimé.....	36
Cylindres.....	44
Soupapes.....	51
B. Eléments hydrauliques.....	52
Eléments du système d'alimentation.....	52
Cylindres.....	54
Soupapes et tuyauterie.....	55

Chapitre	Page
C. Eléments électriques.....	56
Interrupteurs à bouton-poussoir.....	56
Contacteurs.....	57
Relais.....	60
D. Eléments électroniques.....	62
VI. POUR COMPRENDRE LE LANGAGE DE L'AUTOMATION A COUT MODERE.....	64
A. Symboles utilisés pour les éléments.....	64
Eléments pneumatiques et hydrauliques.....	64
Eléments électriques.....	75
B. Schémas des systèmes de commande.....	76
Principaux systèmes de commande.....	76
Composition des systèmes de commande pneumatique ou hydraulique.....	76
Composition des circuits de commande électrique.....	79
VII. SYSTEMES D'AUTOMATION A COUT MODERE APPLIQUES A LA FABRICATION DE MEUBLES A PANNEAUX.....	85
A. Schéma général de fabrication des meubles à base de panneaux.....	85
B. Applications possibles de l'automatisme à coût modéré pour la préparation d'éléments en bois massif.....	85
Découpage à longueur approximative.....	85
Tranchage des côtés.....	87
Découpage avec scie à ruban.....	87
Rabotage de surface.....	89
Rabotage quatre faces.....	90
Sciage à longueur exacte.....	90
Mortaisage.....	91
Forage de trous pour chevilles.....	94
Forage.....	94
Tenonnage.....	94
Moulureuses.....	102
Rainurage.....	102
Ponçage.....	102
C. Applications possibles de l'automatisme à coût modéré pour la fabrication de constituants à base de panneaux....	103
Préparation des placages.....	103
Préparation des planches intérieures à partir de panneaux à base de bois.....	106
Placage des panneaux.....	107
Préparation des bords de panneaux.....	108
Placage des bords.....	108
L'usinage.....	110
Ponçage.....	113

Chapitre	Page
D. Applications possibles de l'automation à coût modéré pour les opérations d'assemblage dans la fabrication de meubles à base de panneaux.....	113
Assemblage des tiroirs.....	114
Application de la colle.....	115
Outils de vissage.....	115
Gabarits et dispositifs d'assemblages modulaires...	116
E. Application possible de l'automation à coût modéré aux opérations de parachèvement dans la fabrication de meubles à base de panneaux.....	116
Coloration.....	116
Remplissage des pores.....	119
Application d'une couche de scellement.....	119
Ponçage léger.....	119
Application de la couche de finition.....	119
Polissage final de la surface.....	121
F. Applications possibles de l'automation à coût modéré à la manutention et au transport des matériaux à mettre en oeuvre.....	121
Techniques et dispositifs pour l'alimentation des machines.....	123
Transport des panneaux.....	123
Autres dispositifs.....	123
VIII. QUELQUES PROBLEMES DE FABRICATION DE MEUBLES A BASE DE PANNEAUX ET LEUR SOLUTION PAR L'AUTOMATION A COUT MODERE.....	128
A. Le cas de l'enlèvement de découpes dans les panneaux....	128
Cas.....	128
Problème.....	128
Variantes à envisager.....	128
Analyse de la valeur des variantes.....	129
Décision de la direction.....	130
B. Le cas de la ponceuse spéciale pour panneaux.....	130
Cas.....	130
Problème.....	131
Analyse du problème.....	131
Variantes disponibles.....	132
Analyse de la valeur.....	132
Période d'amortissement.....	133
Investissement maximum admissible pour le projet...	133
Décision de la direction.....	133
C. Le cas de l'équipe de la ligne de bouchage des pores....	137
Cas.....	137
Problème.....	137
Analyse technique du problème.....	139
Variantes disponibles.....	139
Analyse de la valeur.....	140
Investissement maximum admissible pour le projet...	140
Période d'amortissement.....	140
Décision de la direction.....	141

Chapitre	Page
IX. APPLICATION D'AUTOMATION A COUT MODERE : QUELQUES EXEMPLES....	142
A. Presse à cadrer.....	142
B. Dispositif pour coller les placages sur chants.....	143
C. Dispositif de montage de cadres de porte.....	144
D. Machine pneumatique à clouer.....	144
E. Riveteuse pneumatique à percussion.....	148
F. Mécanisme d'alimentation pour raboteuse.....	148
G. Perçage automatique.....	151
H. Perceuse à colonne automatisée.....	154
I. Mortaiseuse pour serrures.....	154
J. Machines à entailler les cloisons de casiers à bouteilles	158
K. Machines à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision.....	161
L. Sélecteur d'épaisseur.....	162
M. Presse à refouler.....	162
N. Accessoires pour reproduire.....	168

Annexes

I. Quelques symboles normalisés de circuit.....	170
II. Prix approximatifs de certains éléments pneumatiques.....	182
Bibliographie.....	186

## I. L'AUTOMATION A COUT MODERE

Initialement conçue en Europe en 1957, l'automation à coût modéré (ACM) a été l'un des facteurs qui, d'une économie caractérisée par le manque de compétences techniques, de capitaux et par l'éparpillement des marchés, ont fait de l'Europe une communauté de nations hautement industrialisées. A cette époque, MM. C. Linsky et R. de Groot, travaillant pour le compte de l'Organisation européenne de coopération économique - devenue l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) - mirent au point un programme permettant aux petites et moyennes industries de bénéficier des avantages de l'automation en utilisant un équipement peu coûteux, normalisé, simple et adaptable, au prix d'achat accessible et d'installation peu compliquée.

Le premier programme national de diffusion de l'ACM fut organisé en 1960 aux Pays-Bas, pour compléter le programme d'industrialisation de ce pays. Les résultats prouvent que l'ACM pouvait procurer de gros avantages pour un investissement très limité.

### A. Définition générale de l'automation à coût modéré

A notre époque d'industrialisation, beaucoup d'entrepreneurs, quand ils pensent à l'automation, songent d'abord à ces machines complexes qu'ils admirent sur le marché sans très bien les comprendre, sous-estimant ainsi leur propre matériel, qui les a peut-être servis pendant des années et qui, une fois rajeuni, pourrait leur fournir encore des années de bons et loyaux services.

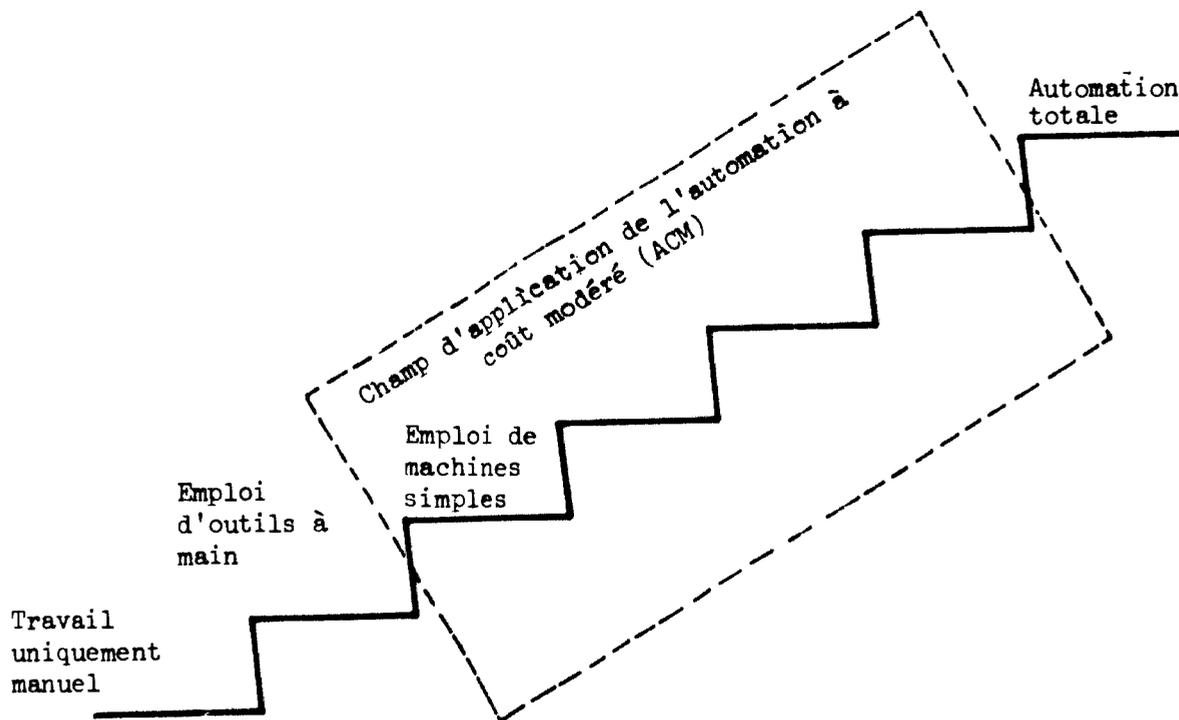
Des milliers d'entrepreneurs passent ainsi sans transition d'un type d'exploitation simple à un système complexe et totalement automatisé, ou au contraire ne font rien pour accroître leur productivité parce que l'achat du matériel offert sur le marché n'est pas financièrement justifiable. Or l'ACM est une attitude, un système et une discipline qui permettent d'améliorer l'efficacité technologique. Autrement dit, il y a, dans le domaine des améliorations possibles, une zone intermédiaire, une zone de "compromis" : tel est précisément le champ d'application de l'ACM (figure 1).

### B. Pourquoi l'automation à coût modéré est-elle économique ?

L'ACM est une méthode à coût modéré (ce qui ne veut pas dire une méthode au rabais) parce que son application tient compte des capacités financières et autres de l'entreprise intéressée et des aspects de son fonctionnement qu'il est réellement nécessaire d'automatiser, et parce que l'objectif visé n'est pas la perfection, mais un avantage partiel important. En d'autres termes, le but de l'ACM n'est pas de mécaniser le plus grand nombre possible de tâches humaines, mais seulement celles qu'il est nécessaire d'automatiser à un moment donné.

Figure 1

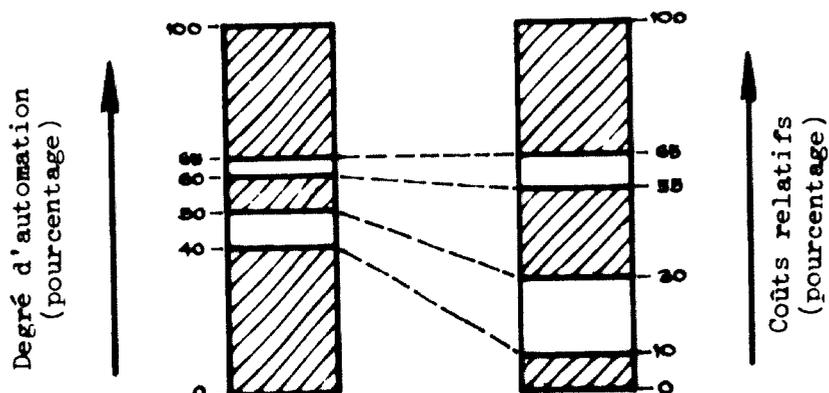
Place occupée par l'ACM dans la progression entre le travail purement manuel et l'automatisation totale



L'ACM étant une notion relative, il est instructif de comparer les coûts de l'automatisation totale avec ceux de l'automatisation "intermédiaire". La comparaison illustrée dans la figure 2 fait bien ressortir le principe de l'ACM. Avec une automatisation relativement peu poussée (jusqu'à 65 % environ), on obtient davantage d'automatisation par unité de coût. Il s'ensuit donc qu'en règle générale une entreprise ne doit pas rechercher l'automatisation totale, et qu'elle ne doit pas aller dans cette direction plus loin que cela n'est réellement nécessaire et économiquement justifiable.

Figure 2

Coût relatif de l'automatisation partielle



Une petite ou moyenne entreprise de fabrication de meubles, n'utilisant que de l'outillage à main, pourrait par exemple commencer par employer des gabarits, puis acheter un outillage mécanique simple, et enfin, si ses besoins le justifient, améliorer le rendement de cet outillage en le munissant de dispositifs qui lui confèrent une automaticité accrue. En procédant de la sorte, on obtiendra un perfectionnement gradué des systèmes de production, sans que l'entreprise excède les limites des investissements prévus.

Un autre facteur qui influe considérablement sur les coûts est le choix de l'équipement. Certains matériels sont très coûteux, parce que fabriqués en vue d'une utilisation déterminée; l'acheteur paie donc beaucoup plus pour le coût indirect que pour le coût direct de sa fabrication. D'autre part, la plupart des dispositifs automatiques ne sont construits que pour un nombre limité d'utilisateurs; le coût de la mise au point n'étant réparti qu'entre un petit nombre d'acheteurs, le coût par acheteur est inévitablement plus élevé. En outre, si le nombre d'acheteurs est réduit, l'équipement a de fortes chances de n'être pas fabriqué en série. Or, le coût est inversement proportionnel aux quantités produites. C'est pourquoi on a tout intérêt à choisir les équipements normalisés offerts sur le marché.

Mais qu'est-ce qu'un équipement normalisé ? C'est une combinaison d'éléments que l'on peut acheter tout prêts, ordinairement en les commandant d'après le catalogue du fabricant. Ces articles sont si communément employés, et pour des utilisations si diverses, que le fabricant continue de les produire et que la plupart des distributeurs les ont en stock. Un élément normalisé n'est jamais fabriqué pour répondre aux besoins particuliers de l'acheteur, et celui-ci n'a pas à spécifier ses besoins exacts pour l'obtenir de son fournisseur. Par exemple, il n'est pas nécessaire que l'acheteur joigne un croquis à l'appui d'une commande de boulons et d'écrous. Tant que l'acheteur se contente des spécifications normales pour ces articles (pas de vis et diamètres normaux), il peut les obtenir à bas prix presque n'importe où. Mais un acheteur qui voudrait un boulon à filet inversé doit être prêt à le payer plus cher, les boulons normaux ayant le pas de vis à droite.

En mettant sur pied un projet d'ACM, il importe de choisir les éléments normalisés les plus courants qui peuvent donner le résultat souhaité. Si un élément normalisé ne convient pas, il faut en chercher un qui soit plus spécifique, mais éviter de continuer les recherches lorsque le degré désiré de spécificité a été atteint. Le concepteur de projet doit aussi comprendre qu'il est possible de combiner les éléments normalisés de diverses manières, de façon à obtenir un matériel dont le fonctionnement sera réellement spécifique. Imaginer les combinaisons n'est pas aussi difficile qu'il paraît. L'ACM étant essentiellement une automatisation de compromis et l'équipement normalisé représentant déjà lui-même un compromis (puisque'il est conçu pour des utilisations très diverses), il existe une convenance parfaite entre l'ACM et les équipements normalisés.

Les éléments normalisés énumérés ci-dessous sont fréquemment utilisés dans l'ACM.

#### Equipement pneumatique et hydraulique

Convertisseurs d'énergie : pompes, compresseurs, moteurs, cylindres, intensificateurs de pression.

Appareils de commande : distributeurs pneumatiques, clapets de non-retour, régulateurs de pression, soupapes d'arrêt.

Matériel auxiliaire : tuyauteries et raccords, réservoirs, filtres, lubrificateurs, échangeurs de chaleur, pots d'échappement.

### Équipement électrique

Convertisseurs d'énergie : moteurs, électro-aimants de traction (ou de poussée), solénoïdes rotatifs.

Appareils de commande : interrupteurs de fin de course, relais divers (relais de blocage, relais à action différée, relais de surcharge, etc.); interrupteurs horaires (moteurs synchrones, thermostats, minuteriers, contacteurs à fluide, etc.); dispositifs de programmation ou blocs logiques; contacts à pression.

Les éléments mentionnés ci-dessus peuvent être obtenus partout et sans difficulté. On peut les utiliser en combinaison les uns avec les autres, ou avec d'autres systèmes pour obtenir l'ensemble souhaité.

L'une des raisons qui rendent si coûteux la plupart des systèmes automatiques est leur complexité. Le concepteur d'ACM doit s'efforcer de parvenir à un ensemble techniquement aussi simple que possible, en ne recherchant que les améliorations réellement nécessaires et en adaptant des appareils simples, aisés à obtenir, pour obtenir le résultat requis. Au lieu de rechercher la perfection, c'est-à-dire une précision absolue, il se contentera d'un degré de précision satisfaisant en laissant le reste au personnel chargé de faire fonctionner l'équipement. Cela ne veut pas dire que la précision est hors de question dans un système d'ACM : les instruments ou les techniques habituellement employés en ACM peuvent dans certains cas être aussi efficaces que le matériel automatisé le plus onéreux.

Il est vrai que l'automatisation entraîne une certaine perte de flexibilité dans le processus de production, ce qui risque parfois de coûter fort cher. Mais, l'ACM étant un compromis, cette perte de flexibilité peut être réduite à un minimum. Il n'est nullement nécessaire de tout programmer en matière d'ACM, et la souplesse naturelle aux êtres humains peut être associée à la mécanisation.

Un autre avantage de l'ACM, qui tient à sa flexibilité relative, est sa compatibilité. Supposons par exemple que l'on achète pour un projet d'ACM des éléments que l'on monte sur une tronçonneuse mécanique pour en accroître le rendement. Dès que l'utilisation de la tronçonneuse n'est plus de première nécessité, les mêmes éléments normalisés peuvent être démontés et installés pour équiper un mécanisme d'alimentation de raboteuse.

Fondamentalement, l'ACM est peu coûteuse dans la plupart des cas, parce qu'elle est simple à une époque complexe. Construisant à partir de ce dont il dispose déjà, l'ingénieur utilisant l'ACM ne se laisse pas détourner de son but par les nouveautés que le marché propose. Il s'efforce de concevoir un système automatisé en se servant d'éléments normalisés et réutilisables, grâce à des méthodes simples et souples.

## II. CE QUE L'AUTOMATION A COUT MODERE PEUT AMELIORER

L'automatisme à coût modéré permet des améliorations dans les domaines suivants :

- Qualité du produit;
- Utilisation de la main-d'oeuvre;
- Utilisation des matériaux;
- Utilisation des machines déjà en place;
- Sécurité.

Ces améliorations ont pour conséquences directes l'augmentation du rendement et le renforcement du caractère compétitif de l'entreprise, ainsi que la réduction des frais de production.

### A. Qualité du produit

En général, l'élément humain pose, pour ce qui concerne le maintien de la qualité du produit, des problèmes extrêmement difficiles à résoudre. Qualifiés ou non, les travailleurs sont sujets à la fatigue, à l'insouciance ou à la distraction, toutes choses qui ont un effet négatif sur la qualité du produit. L'ACM, en réduisant l'intervention de l'homme dans une opération donnée au niveau tout juste suffisant, peut contribuer pour beaucoup à l'amélioration de la qualité. L'ACM peut être appliquée avec un profit même pour les opérations de manutention qui peuvent avoir un effet négatif sur le niveau de qualité.

Les deux exemples ci-après montrent comment une usine d'ameublement a résolu des problèmes de qualité au moyen de l'ACM.

Dans cette usine, les surfaces de chaises récemment peintes au pistolet étaient souvent endommagées lors des opérations de manutention nécessaires au transport des chaises entre les cabines où la peinture était appliquée et l'atelier de finition, soit une distance de huit mètres. Pour résoudre le problème, le fabricant a construit un simple transporteur à bande en utilisant du bois, des pièces de bicyclette, des vieilles bandes à papier de verre et des éléments pneumatiques. La figure 3 représente cette installation <sup>1/</sup>. Après avoir placé une chaise sur le transporteur à bande, l'ouvrier appliquant la peinture appuie du pied sur une commande qui déclenche un cylindre à air comprimé, lequel déplace la bande du transporteur de façon à faire place pour la chaise suivante. Les chaises sont ainsi déplacées graduellement jusqu'à l'atelier de finissage, où elles arrivent sèches et sans avoir été touchées par personne.

Coût de l'ensemble : 110 dollars<sup>2/</sup>.

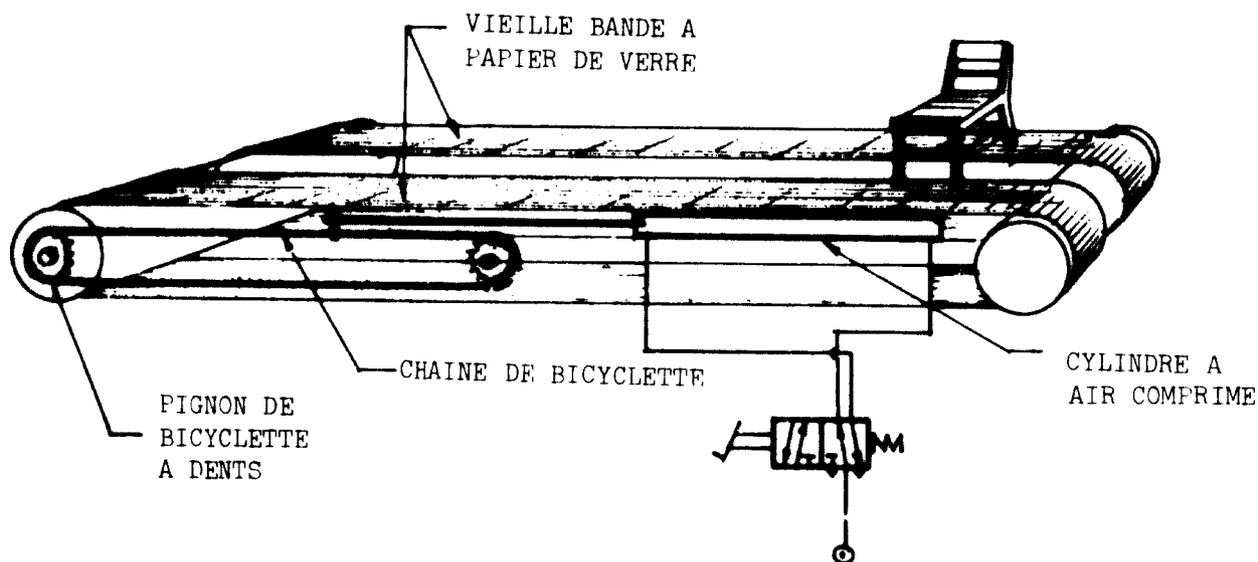
---

<sup>1/</sup> Le circuit pneumatique n'est montré ici que de façon schématique. Les symboles utilisés dans cette figure et dans les figures suivantes sont expliqués au chapitre VI et dans l'annexe 1.

<sup>2/</sup> Les dollars doivent s'entendre en dollars des Etats-Unis.

Figure 3

Transporteur à bande pour chaises



Dans la même fabrication de meubles, les chaises devaient être manipulées à la main par les tapissiers chargés de les recouvrir. Ce travail était fatigant et prenait beaucoup de temps : aussi la qualité du produit se détériorait-elle progressivement au cours de la journée.

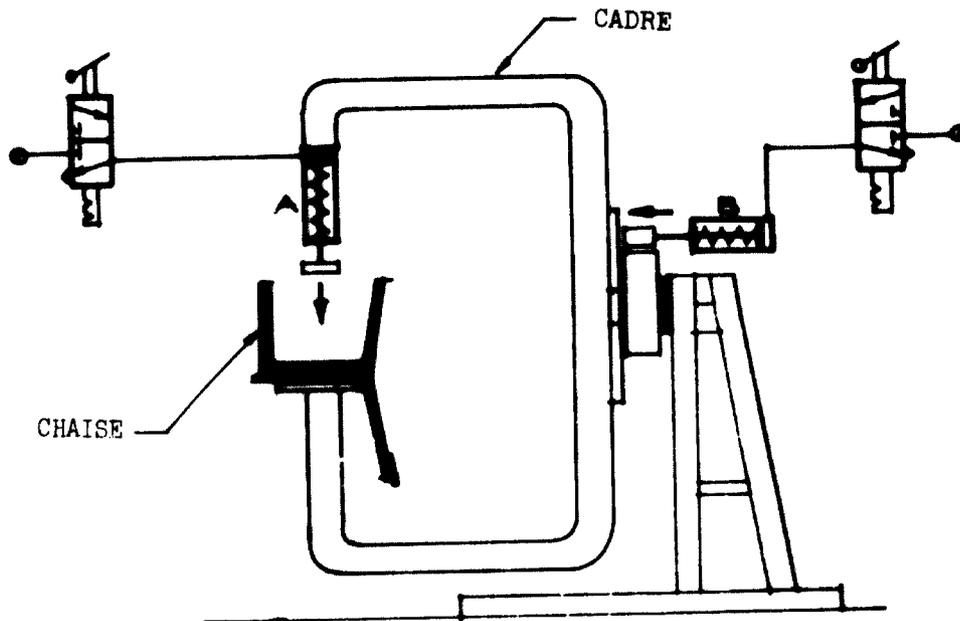
Le problème a été résolu par la fabrication d'un manipulateur en forme de C qui tient la chaise pendant qu'elle est recouverte par le tapissier. La figure 4 montre le fonctionnement de ce manipulateur. Le cylindre A, actionné par une commande à levier, maintient la chaise en place ou la libère. On peut d'ailleurs à tout moment faire tourner la chaise autour de l'axe du cylindre. Le cylindre B, actionné du pied par une commande à ressort, tient en place le cadre en forme de C après qu'on l'a fait tourner autour de son essieu. L'ouvrier peut maintenant placer et tenir la chaise dans toutes les positions et avec un minimum d'effort. Utilisant une agrafeuse pneumatique il peut consacrer toute l'attention voulue à un travail de bonne qualité.

Ce manipulateur, qui revient à environ 312 dollars, ne résoud pas seulement le problème de la qualité, mais permet aussi de tripler la capacité de production.

On trouvera au chapitre IX, dans les sections A, H, I, J, K, L et M, d'autres exemples d'amélioration de la qualité au moyen de l'ACM.

Figure 4

Manipulateur de chaise



B. Utilisation de la main-d'oeuvre

Dans beaucoup de manufactures d'ameublement, les travailleurs qualifiés sont sous-utilisés. On entend par là qu'ils consacrent 40 à 60 % de leur temps à des activités pour lesquelles leurs qualifications particulières ne sont pas indispensables. De leur côté, les nombreux travailleurs non qualifiés ou semi-qualifiés qui pourraient exécuter ces travaux ne peuvent pas être employés à cette fin, parce que le fabricant ne peut pas les insérer dans le processus de production. L'automatisation à prix modéré est souvent un excellent moyen de remédier à cette anomalie, comme le montre l'exemple suivant.

Dans une menuiserie, le bois scié était débité selon certaines dimensions standard. L'opération exigeait que l'on prît particulièrement soin de la longueur de la pièce et de la qualité du tronçonnage, car une erreur, même légère, risquait d'entraîner, soit la mise au rebut de la pièce, soit un travail de correction effectué dans l'atelier d'assemblage et qui coûtait à la fois beaucoup de temps et beaucoup d'argent. Pour obtenir un tronçonnage parfait, l'ouvrier devait marquer sur la pièce l'emplacement exact où appliquer la scie, vérifier l'exactitude de ses mesures et veiller à la parfaite propreté du gabarit.

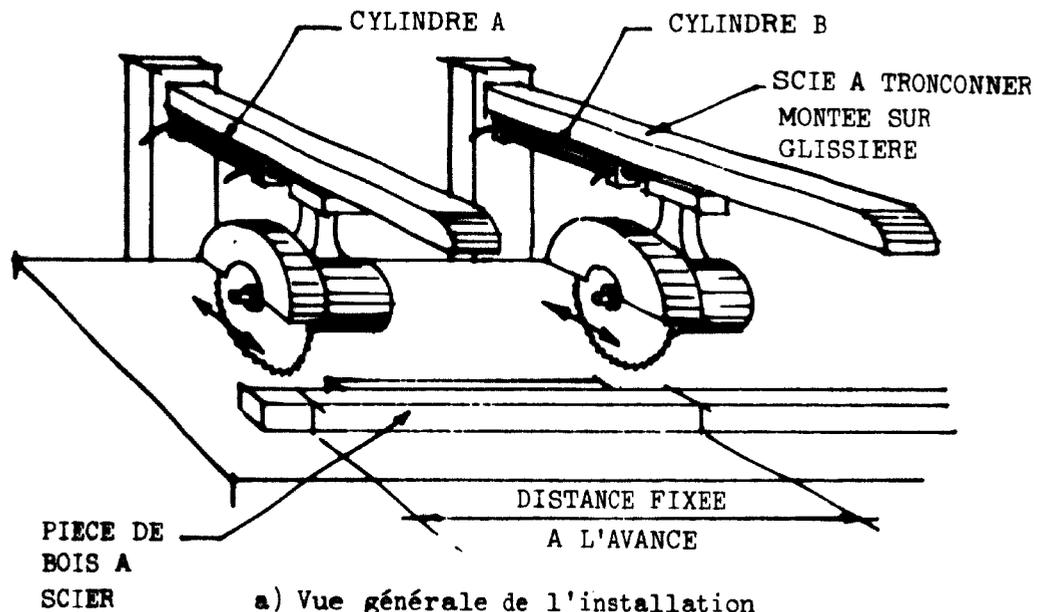
Dans la solution ACL, on a eu recours à deux scies à tronçonner montées sur glissière et séparées par la distance voulue pour la pièce. Ces deux scies se trouvaient déjà dans la menuiserie en question. La figure 5 a) montre les deux scies à glissière, assorties de cylindres à air comprimé, et la figure 5 b) décrit le circuit pneumatique de façon simplifiée. Quand

l'opérateur presse du pied de la commande à ressort, les cylindres poussent les scies en avant, et celles-ci coupent la pièce à la longueur requise. Cette installation assure un tronçonnage de la même qualité que celui effectué par un ouvrier qualifié, avec cette différence qu'il peut être confié à un ouvrier semi-qualifié (lequel coûte 20 % de moins qu'un travailleur qualifié). Tout ce qu'a à faire l'opérateur est de placer et de tenir la planche, et d'appuyer du pied sur la commande. Un autre avantage est l'économie qui résulte de la diminution du nombre de pièces mises au rebut, soit 22,20 dollars par semaine dans la menuiserie en question.

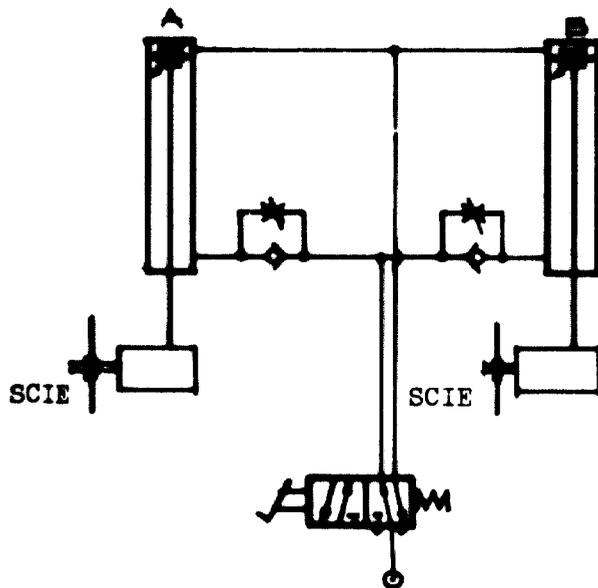
Coût total des éléments : 300 dollars.

Figure 5

Installation ACM de tronçonnage



a) Vue générale de l'installation



b) Schéma du circuit pneumatique

### C. Utilisation des matériaux

La plupart des installations industrielles utilisent plus de matériaux qu'elles n'en ont vraiment besoin, car il faut prévoir un pourcentage de déchet dû aux inexactitudes ou aux erreurs. Dans une usine de meubles, par exemple, on utilise davantage de bois tronçonné au début, en prévision de corrections éventuelles. De même, dans les opérations de peinture ou de vernissage, l'ouvrier utilise généralement plus de peinture ou de vernis qu'il n'en faudrait, de crainte de négliger tel ou tel point de la surface à recouvrir. Encore faut-il parfois ajouter une dernière couche ici ou là. Il en va de même dans les opérations de collage.

L'ACM, en ramenant au minimum la marge d'erreur dans les opérations de ce genre, permet une utilisation optimale des matériaux utilisés. Comme exemple d'économie réalisée dans les opérations de vernissage, on citera le cas d'une fabrique de meubles où la surface des tables était vernie manuellement au moyen d'un pistolet atomiseur. Les ouvriers, insuffisamment qualifiés, utilisaient plus de vernis qu'il n'en fallait vraiment : de 20 à 30 % de la quantité utilisée était en réalité gaspillée.

La figure 6 montre comment on a appliqué l'ACM dans ce cas. Le sommet de table est placé verticalement sur une plate-forme montée sur rouleaux, que l'on fait démarrer. Le cylindre A fait osciller le pistolet atomiseur qui lui est relié. En même temps, la commande S ouvre l'arrivée d'air conduisant au pistolet atomiseur. Tandis que celui-ci va et vient, le cylindre B pousse le sommet de table jusqu'à ce que sa surface entière ait été recouverte. Puis le dispositif s'arrête automatiquement et tous les cylindres retournent à leur position de repos.

Coût de l'installation : environ 575 dollars, récupérés en cinq mois grâce aux économies en vernis (15 %).

On trouvera au chapitre IX, section L, d'autres exemples d'économie de matériaux grâce à l'ACM.

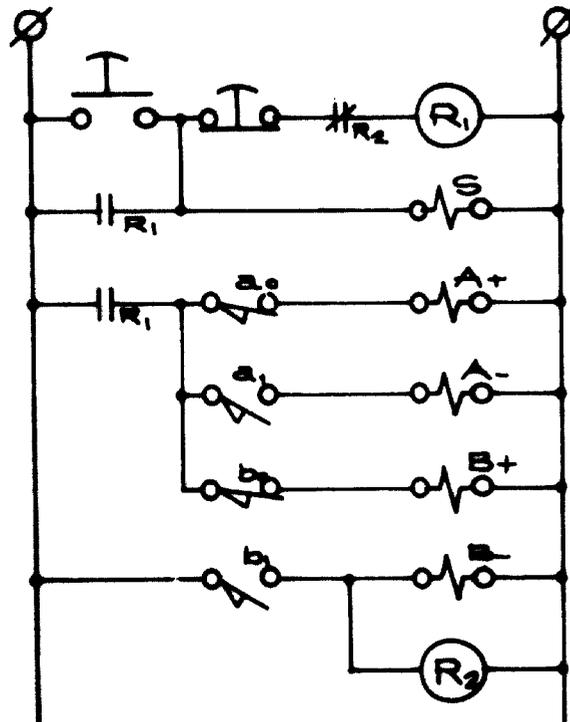
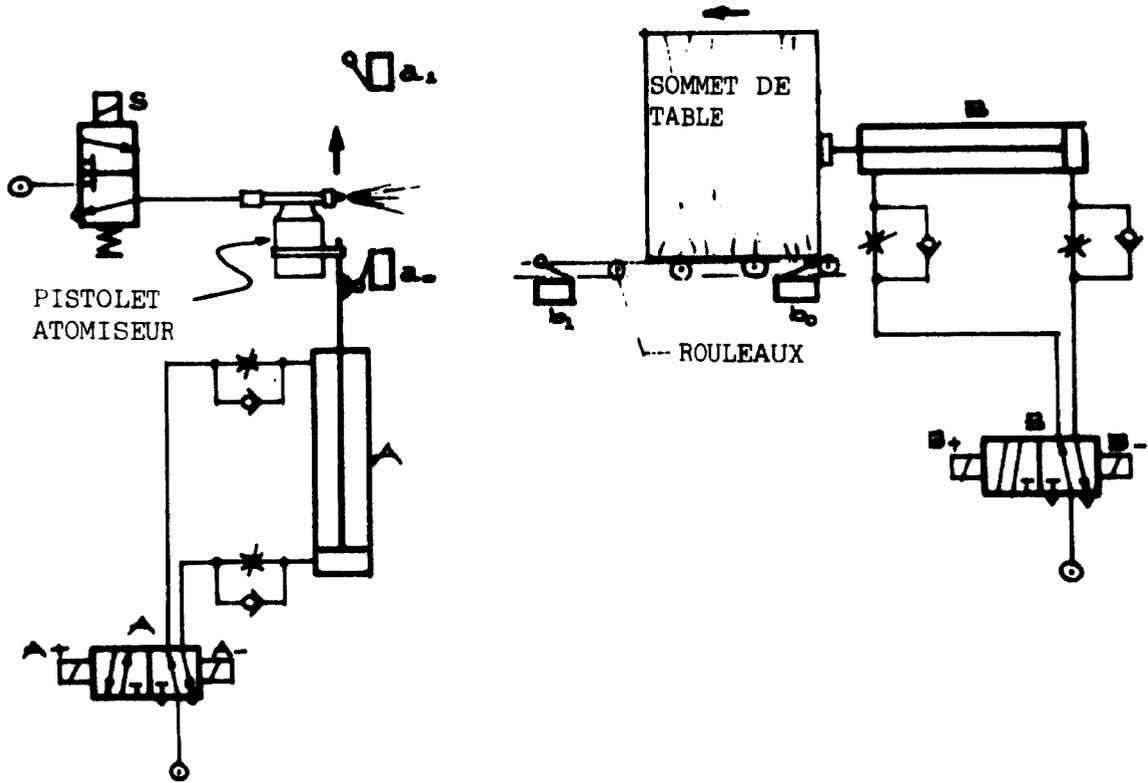
### D. Utilisation des machines déjà en place

Il arrive fréquemment que des machines coûteuses, telles que les tenonneuses ou les machines à faire les queues, soient sous-utilisées en raison du temps consacré à des opérations n'ayant qu'un rapport indirect avec le travail du bois. Il n'est pas rare, par exemple, qu'un contrôle chronométrique montre qu'une tenonneuse reste inutilisée pendant 30 % du temps, l'opérateur devant insérer et fixer la pièce dans la machine, puis l'enlever, tout cela à la main.

L'utilisation d'une simple presse pneumatique (figure 7) permet d'augmenter de 20 % au moins le rendement de la machine. Le coût du circuit pneumatique décrit dans cette figure est d'environ 97 dollars.

Figure 6

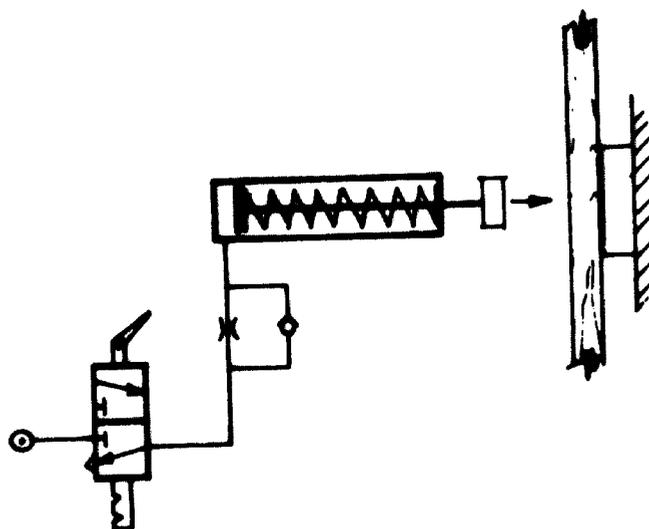
Atomiseur automatique sur rouleaux



Le rendement d'une machine à fraiser sur quatre faces peut être augmenté par l'utilisation d'un alimentateur électrique (qui est une pièce courante). On trouvera au chapitre IX, section F, un exemple de mécanisme d'alimentation pour raboteuse.

Figure 7

Presse pneumatique



E. Sécurité

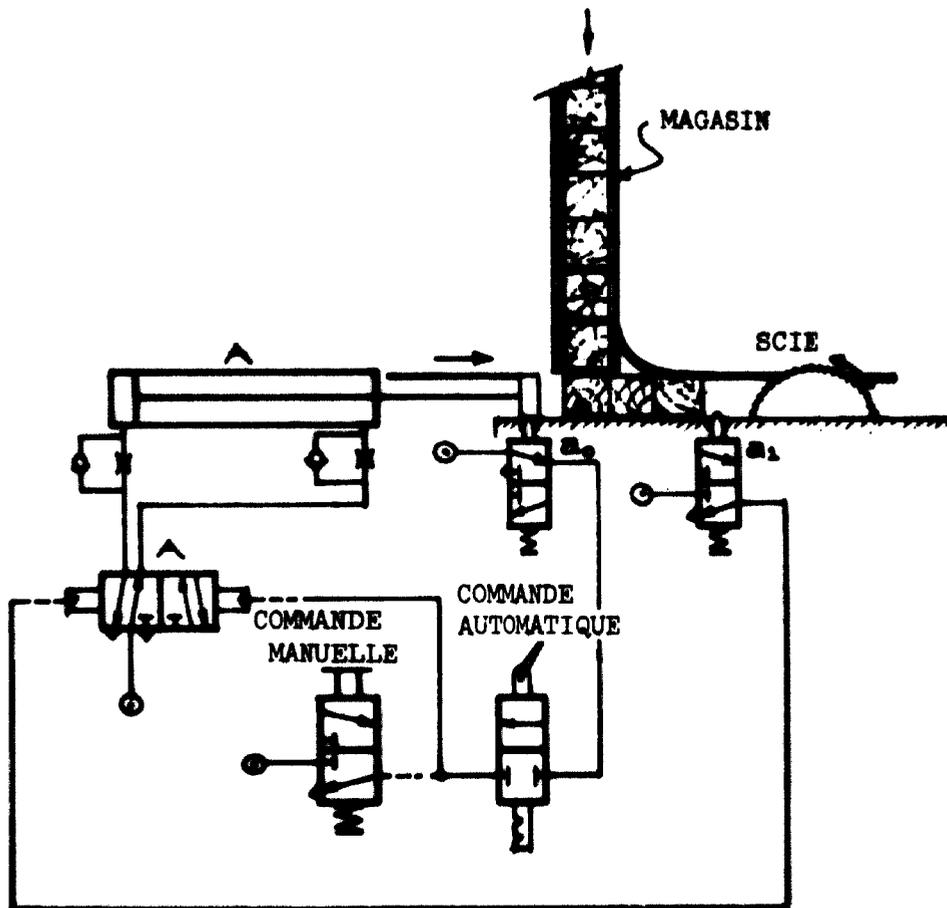
Dans bien des cas, on peut améliorer la sécurité grâce à l'ACM, en concevant les machines et les dispositifs de façon qu'il soit pratiquement impossible à l'opérateur de commettre une erreur en alimentant la machine dont il a la charge, et par conséquent de s'exposer à un accident. Dans ce cas, le rôle de l'opérateur se borne à surveiller le chargement de l'alimentateur et le fonctionnement de la machine : les opérations comportant des risques sont effectuées par l'installation ACM. Par exemple, pour alimenter une scie à tronçonner non mobile et fonctionnant à l'électricité, on utilisera le circuit décrit dans la figure 8 au lieu d'un engin manié à la main, du moins pour les pièces de taille relativement réduite.

Dans ce circuit, quand l'opérateur appuie sur la commande manuelle, le cylindre avance, puis recule. Une fois que la commande automatique est branchée, le piston du cylindre continue son mouvement de va-et-vient et présente à la scie des éléments contenus dans le magasin, jusqu'à ce que la commande soit débranchée. Cette installation garantit la sécurité des opérations d'alimentation, car l'opérateur n'a à se servir de ses mains que pour manipuler des boutons ou des leviers et pour alimenter le magasin.

Coût des éléments de la figure 8 : 290 dollars environ.

Figure 8

Alimentateur pour scie à table



### III. L'ANALYSE DES BESOINS EN AUTOMATION A COUT MODERE

#### A. Le point de vue du chef d'entreprise

Les exemples cités dans le chapitre précédent montrent que l'ACM peut renforcer le caractère compétitif de l'entreprise en augmentant le rendement tout en diminuant les frais de production. Aussi les directeurs d'entreprises d'ameublement et de menuiserie voudront-ils peut-être appliquer les méthodes de l'ACM sans perdre de temps. Cependant, ils devront tout d'abord examiner les facteurs ci-après :

Considérations économiques;  
Conditions techniques;  
Besoins en personnel;  
Compétences des cadres.

#### Considérations économiques

Dans tout changement des opérations de production, l'un des principes de base est que les avantages qui en résultent doivent l'emporter sur le coût. Ce principe s'applique également à l'ACM. Il arrive certes que le coût d'application de l'ACM soit supérieur aux avantages financiers éventuels et que l'ACM soit néanmoins appliquée en raison des améliorations qu'elle permet dans la qualité du produit ou la sécurité, améliorations qui représentent elles aussi des avantages. Mais de toute façon, que l'on applique l'automatisation pour des raisons de sécurité, de qualité ou d'économie, la connaissance du coût relatif des divers projets possibles est importante pour choisir entre eux.

En supposant que la décision d'appliquer l'automatisation réponde uniquement à des considérations économiques, on peut utiliser la formule ci-après pour déterminer l'investissement maximum qu'une entreprise doit consentir pour un projet donné.

$$I = \left[ \frac{nN}{1 + \frac{i}{100}(n+1)} \right] \left[ \left( \frac{Q_2}{Q_1} - 1 \right) \left( m + w \left( 1 + \frac{p}{100} \right) + V_1 \right) + V_1 - V_2 \right]$$

- I = Investissement maximum
- i = Taux d'intérêt en vigueur (pourcentage annuel)
- n = Période d'amortissement (en années)
- N = Nombre d'heures d'activité par année
- Q<sub>1</sub> = Production horaire avant l'ACM
- Q<sub>2</sub> = Production horaire après l'ACM
- m = Coût horaire fixe du matériel, y compris les frais généraux
- w = Salaires horaires directs
- p = Proportion des frais indirects de personnel (pourcentage de w)
- V<sub>1</sub> = Coût horaire variable du matériel au taux de production Q<sub>1</sub>
- V<sub>2</sub> = Coût horaire variable du matériel au taux de production Q<sub>2</sub>

### Conditions techniques

Lorsqu'une entreprise se contente d'adopter l'automatisme, sans l'adapter, son rendement risque de diminuer au lieu d'augmenter, surtout si le personnel n'est pas préparé à des opérations automatisées relativement compliquées. Par exemple, les ouvriers qui ne connaissent pas le fonctionnement d'une machine risquent de l'endommager. Ou encore, en cas de panne, le personnel d'entretien ne saura peut-être pas remettre la machine en état de fonctionnement.

### Besoins en personnel

L'application des méthodes d'automatisme dans une entreprise entraîne les modifications qualitatives et quantitatives ci-après dans les besoins en personnel spécialisé :

Fonction	Nombre d'employés	Compétences requises
Production directe	Moins	Inférieures
Entretien	Plus	Supérieures
Transport	Moins	Supérieures
Ingénieur	Plus	Supérieures

### Compétences des cadres

Il est parfois nécessaire, pour appliquer l'automatisme dans une entreprise, de commencer par améliorer la direction. Lorsque la "pagaille" règne dans le personnel directeur avant l'introduction de l'automatisme, celle-ci aura un seul résultat : une pagaille automatisée. En d'autres termes, l'automatisme en soi ne produit pas de miracles en matière de gestion : il arrive même qu'elle en exige. L'augmentation du rendement qui résulte de l'automatisme entraîne en effet une plus grande consommation de matières premières, un plan de travail plus compliqué, des besoins techniques plus précis (par exemple, le contrôle dimensionnel), etc. Si le personnel directeur n'est pas capable de faire face à ces complications, il vaut mieux remettre à plus tard le passage à un degré supérieur d'automatisme. Les entreprises ne disposant pas de cadres suffisants doivent commencer par le type d'automatisme le plus simple, et avancer progressivement vers des types d'automatisme plus compliqués à mesure que s'améliorent les compétences de ce personnel.

### B. Le point de vue de l'ingénieur

Si l'on demande à un ingénieur d'automatiser une opération particulière, quel sera son premier soin ? De concevoir immédiatement un système qui imite toutes les actions de l'opérateur actuel ? Certainement pas. Son premier soin sera d'analyser les besoins en matière d'automatisme, c'est-à-dire de déterminer le degré précis d'automatisme dont l'entreprise a réellement besoin pour l'opération en question, puis d'agir en conséquence.

Si l'entreprise veut augmenter sa production générale, l'opération à automatiser est celle qui constitue un goulot d'étranglement dans le processus de production. L'analyse s'efforcera donc de vérifier si l'opération en cause constitue réellement le goulot d'étranglement à supprimer. Si, par exemple, la difficulté provient de l'accumulation des pièces au début de cette opération, il est possible que le goulot d'étranglement ne soit dû qu'à un plan de travail défectueux, auquel cas il serait absurde d'automatiser l'opération en question. Il arrive qu'un besoin apparent d'automatisation disparaisse par la simple application de bonnes méthodes de planification et de contrôle de la production.

Parfois, la simplification des techniques de production grâce à l'étude des méthodes (ou des tâches) remplace avantageusement l'automation, comme on le verra dans l'exemple suivant.

Dans une entreprise, les pieds de lits en bois étaient fabriqués en arrondissant au tour un bloc de bois rectangulaire, puis en perçant la pièce de part en part. Le trou devait se trouver exactement au centre de la pièce, ce qui était extrêmement difficile. La direction de l'entreprise voulut automatiser l'opération. En étudiant le procédé, l'ingénieur chargé de cette mission constata qu'on utilisait un tour à bois pour percer le bloc. Percer en soi était facile : ce qui était difficile était de percer exactement au centre du bloc. Après avoir étudié la question et y avoir réfléchi, l'ingénieur recommanda que l'ouvrier commence par percer le bloc et ne l'arrondisse qu'ensuite. Quand cette méthode fut appliquée, les difficultés disparurent, et l'on n'eut pas besoin d'automatiser l'opération (voir figure 9).

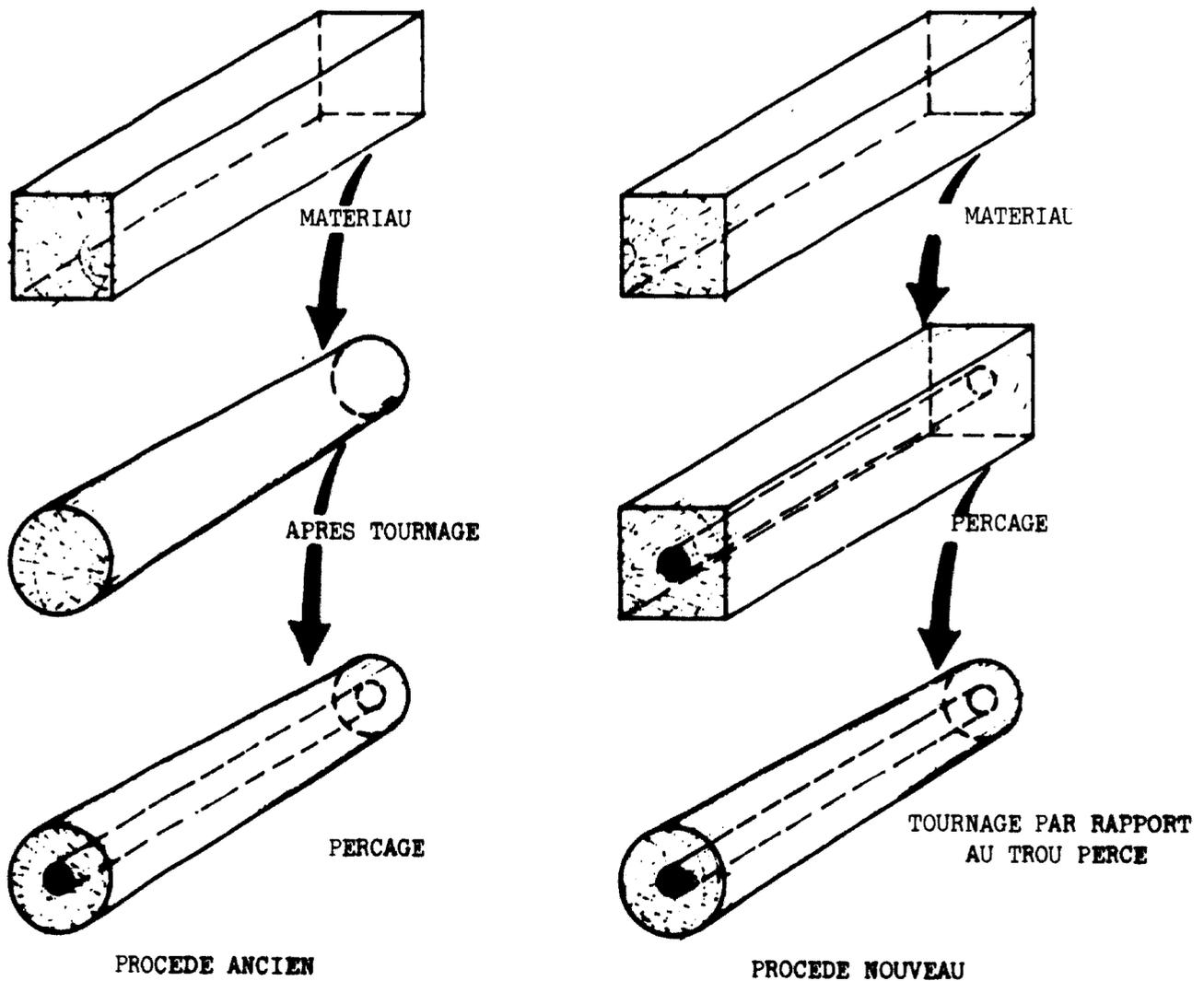
Dans cet exemple, le besoin d'automatisation a été éliminé par la simplification du procédé. Dans d'autres cas, on peut obtenir le même résultat en simplifiant le produit par l'analyse de la valeur, généralement en le redessinant tout simplement. Par exemple, il n'y a pas de raison d'automatiser la fabrication d'une certaine pièce du produit final, si celui-ci peut être redessiné de façon à utiliser une pièce similaire que l'on trouve toute faite et à bon marché. Ou encore, si l'on peut augmenter la marge de tolérance au stade de la conception sans diminuer la qualité du produit, les problèmes d'automation mettant en cause cette marge de tolérance seront plus faciles à résoudre, sinon éliminés. D'ailleurs, quand la conception de certaines pièces ou de l'ensemble du produit peut être simplifiée en vue de l'automation, c'est que de toute façon le moment était venu de réviser cette conception.

La figure 10 donne un exemple de simplification du produit par analyse de la valeur. Dans ce cas, les traverses des dossiers de chaises étaient tenonnées de façon à s'adapter dans les cavités défoncées dans les montants. Comme il était difficile d'effectuer ce travail de tenonnage avec précision, le directeur de l'entreprise envisageait d'automatiser l'opération à grands frais. Cependant, une analyse de la valeur révéla que le procédé utilisé - et par conséquent l'automation elle-même - pouvait être simplifié en élargissant les cavités défoncées dans les montants, ce qui rendrait le tenonnage inutile. Il suffisait pour cela que la profondeur des cavités corresponde exactement à la longueur des traverses, ce que l'ACM permettait sans difficulté.

En d'autres termes, l'ingénieur, après avoir décidé d'automatiser, essaie de simplifier sa tâche sans pour autant y renoncer. Et, ayant vérifié que la nécessité d'automatiser est réelle, il s'assure que l'automation est faisable.

Figure 9

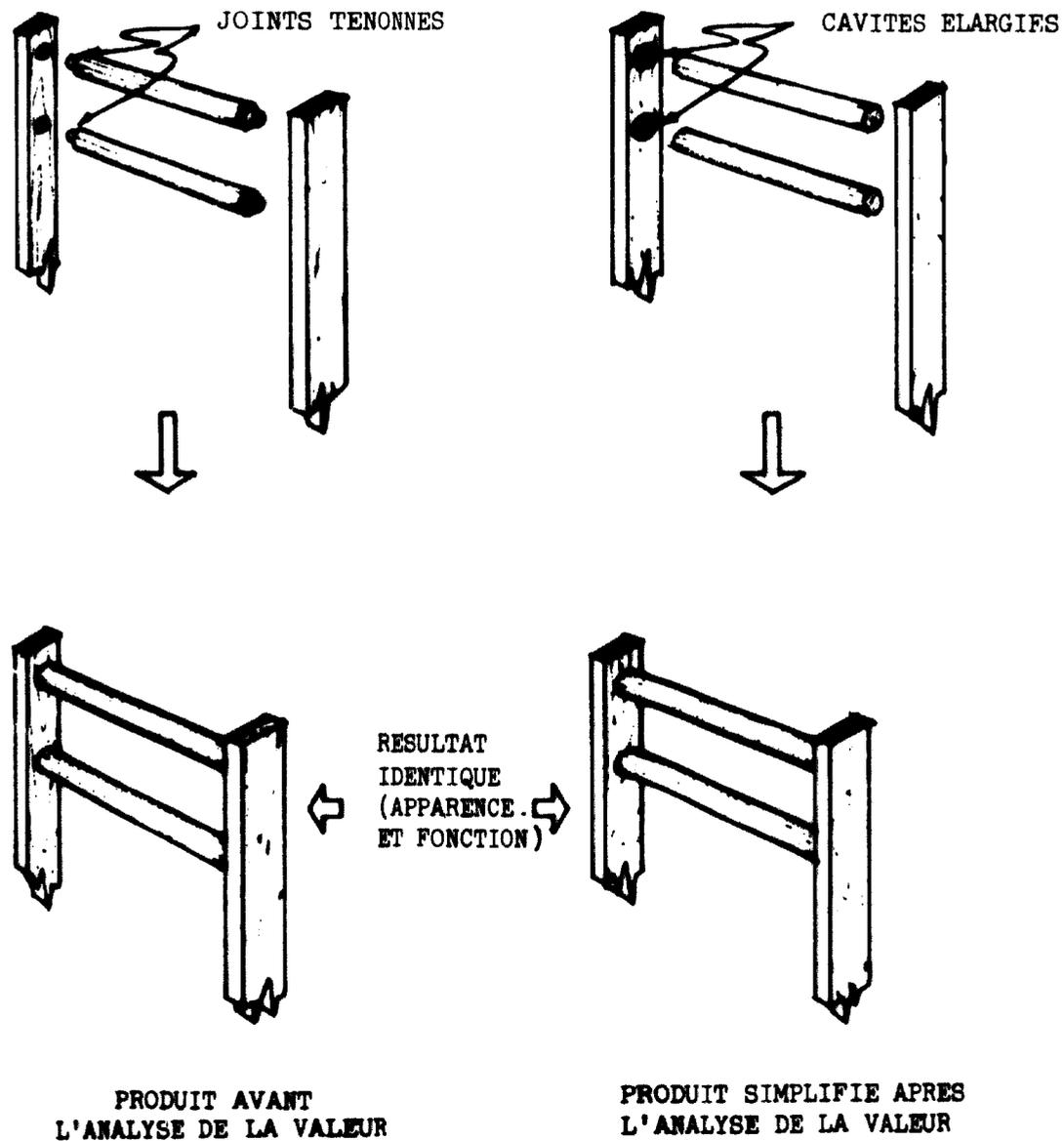
Comparaison entre deux procédés de fabrication de pieds de lits en bois. Le nouveau procédé permet un perçage centré avec exactitude beaucoup plus facilement que le procédé ancien, et élimine tout besoin d'automation



Parfois, c'est la gamme des produits qui doit être réduite. L'automatisation cause en effet une certaine perte de flexibilité, source de problèmes quand le produit revêt des formes multiples. Par exemple, il serait difficile et coûteux de créer un système automatisé pour assembler 20 types de chaises différents. Il faut donc trouver un compromis, qui consistera à ne produire que quelques types (ou quelques tailles) de chaises. En revanche, il se peut que certaines opérations soient communes à tous ces types ou à toutes ces tailles : ces opérations pourront sans doute être automatisées.

Figure 10

Simplification du produit  
par analyse de la valeur



Une fois déterminées la nécessité et la possibilité d'automatiser un procédé (qui n'est pas nécessairement le procédé considéré à l'origine), il convient de procéder à une étude chronométrique, de l'opération en question. L'opération est donc divisée en ses différents éléments, et le temps consacré à chacun est mesuré afin d'identifier les éléments qui prennent le plus de temps. Sur la base de cette étude, l'ingénieur pourra choisir par exemple de n'automatiser que l'élément qui prend le plus de temps, ou de combiner certains éléments au moyen de l'automation. Ce n'est qu'ensuite qu'il entreprend la mise au point du système ACM.

Dans cette mise au point, l'ingénieur doit tenir compte de la sécurité, du coût et des autres aspects pratiques de l'opération. En outre, comme il prend la situation actuelle comme point de départ, il doit bien comprendre cette situation, ainsi que la façon dont la modification proposée affectera le reste de l'entreprise. Les ingénieurs capables de cet ensemble d'opérations ont nécessairement une formation interdisciplinaire, et leurs horaires sont donc élevés.

L'entreprise qui a engagé un ingénieur pour mettre au point un système d'ACM doit recevoir de lui des instructions complètes sur les modalités de fonctionnement du nouveau matériel, et des copies de tous les plans nécessaires pour son entretien.

C. L'application de l'automation à coût modéré  
par la méthode analytique : un exemple concret

En raison d'un programme de construction de logements, entrepris par les autorités locales, une fabrique de menuiserie avait de la peine à faire face à la demande en cadres de fenêtre. La direction prévoyait le moment où le rendement de l'entreprise serait insuffisant, même avec trois équipes de travailleurs par jour. De plus, les ouvriers qualifiés étaient rares. La direction décida donc de réunir une équipe de techniciens et d'ouvriers pour étudier les moyens d'éviter le manque à gagner que risquait d'entraîner l'insuffisance de la production.

En analysant les divers procédés utilisés dans la fabrique, cette équipe rassembla les données ci-après concernant les opérations manuelles ayant des conséquences particulières sur la capacité de production :

Opération	Capacité de production (en nombre de cadres par jour)	Coût unitaire de la main-d'oeuvre (en dollars par cadre)
Tronçonnage	22	0,04
Tenonnage	5	0,40
Mortaisage	12	0,10
Montage	16	0,06

Il apparaissait donc que le tenonnage n'était pas seulement un goulot d'étranglement, mais que c'était aussi l'opération la plus coûteuse sur la liste. Un effort concerté fut tenté pour améliorer cette opération.

Après avoir poursuivi son étude, l'équipe mit au point trois plans d'action possibles :

1. Dessiner et installer des gabarits et porte-pièce  
Augmentation du rendement : 20 %  
Coût : 14,40 dollars
2. Acheter une tenonneuse  
Augmentation du rendement : 800 %  
Coût fixe de la machine : 485 dollars par an  
Coût variable (personnel, entretien et électricité) : 1,25 dollar par cadre
3. Confier l'opération de tenonnage à un sous-traitant  
Coût (pour une quantité maximum de 200 cadres par jour) : 0,18 dollar par cadre

Le plan 1 n'était pas satisfaisant : malgré certaines améliorations, l'opération de tenonnage serait restée un goulot d'étranglement. Le 2 était beaucoup plus tentant : comme on évaluait le coût du tenonnage à 2,55 dollars par cadre, le seuil de rentabilité de la machine serait de  $485 / (2,55 - 1,25) = 373$  cadres par an, soit très au-dessous du rendement prévu. Cependant, le coût initial de la machine (4 850 dollars) aurait posé des problèmes de trésorerie à l'entreprise, qui était de taille limitée. C'est donc le plan 3 qui fut choisi; il permettait en effet d'éliminer le goulot d'étranglement sans dépenses immédiates et tout en abaissant les frais d'exploitation.

Le problème du tenonnage étant réglé, venait ensuite celui du mortaisage. Cette opération consistait à marquer sur la pièce les mesures et l'endroit précis de la mortaise, puis à pratiquer l'entaille au ciseau. Après avoir observé les deux ouvriers ainsi occupés, l'équipe conclut qu'ils étaient suffisamment qualifiés pour ce travail. La difficulté venait de ce que, même avec des ouvriers parfaitement qualifiés, l'opération prenait trop de temps. Pour résoudre le problème, on décida d'acheter une perceuse d'occasion et d'y monter un outil mortaiseur. Pour 135 dollars seulement, prix d'achat de la perceuse, le nombre de cadres mortaisés passa de 12 à 23 par jour. Les attributions des deux ouvriers furent changées : l'un marquait les cadres, l'autre actionnait la perceuse.

Le dernier goulot d'étranglement était le montage, qui fut amélioré par l'installation d'un dispositif de serrage fabriqué en utilisant une vieille lance à incendie (voir chapitre IX, section A). Le nombre de cadres assemblés passa de 16 à 21 par jour.

Le rythme des opérations de tronçonnage, de mortaisage et de montage, devenu ainsi à peu près uniforme, suffit pour faire face à la demande pendant les trois mois suivants. Cependant, la demande continuait à augmenter rapidement. Aussi rechercha-t-on bientôt les moyens de faire passer le rythme des opérations de montage et de mortaisage à 40 cadres par jour, chiffre rendu possible dans l'opération de tronçonnage par l'achat d'une tronçonneuse à glissière. (Le tenonnage ne posait pas de problème immédiat, car le sous-traitant pouvait continuer à fournir 200 cadres par jour. Cependant, on prévoyait de négocier un contrat à long terme pour cette opération.)

Une étude chronométrique du travail de l'ouvrier opérant la mortaiseuse donna les résultats suivants :

	Pourcentage
Serrage et desserrage de la pièce	60
Creusement de la mortaise	20
Manipulation de la pièce	20

Il était évident que l'opération de serrage prenait trop de temps par rapport aux autres. La fabrique possédant déjà des installations d'air comprimé (pour la peinture au pistolet), il fut décidé d'utiliser un système pneumatique pour le serrage. Cette solution augmenta d'environ 40 % le rythme journalier du mortaisage, le faisant passer à 32 cadres en moyenne par jour. Ce chiffre était inférieur aux 40 cadres par jour que l'on espérait atteindre, mais du moins l'entreprise avait-elle le temps de chercher de nouveaux moyens d'augmenter la productivité.

Par la suite, les techniciens de l'entreprise conçurent un autre système ACM de serrage pour la vieille perceuse qui servait au mortaisage : il s'agissait d'un système mixte air-huile, composé d'un cylindre pneumatique ordinaire et d'un cylindre régulateur à huile (pour la commande de l'avance) et qui fournissait l'énergie nécessaire à l'opération de mortaisage proprement dite. Cette solution fit enfin passer le rythme de production à 40 cadres par jour. L'augmentation était due principalement à l'accélération du mortaisage. On trouvera plus de détails sur cette solution au chapitre IX, sections G et H.

Quant à l'opération de montage, où le serrage constituait de nouveau le goulot d'étranglement en raison de problèmes de dégauchissement, le procédé décrit au chapitre IX, section C, fit passer le rythme de production possible à 104 cadres par jour.

Un an après le début du programme d'amélioration de la productivité, il apparut que celle-ci devait être doublée encore une fois. De nouvelles études s'imposaient donc.

Commençant à nouveau par l'opération de tronçonnage, où l'introduction de la tronçonneuse à glissière avait inauguré la première série d'améliorations, on adapta à la scie le cylindre pneumatique décrit dans la figure 5 (chapitre II), ce qui permit d'atteindre la productivité voulue, et même de la dépasser.

Pour ce qui est du mortaisage, on estima que la manutention des pièces prenait trop de temps et devait être automatisée. De toute façon, l'ancien procédé de serrage devait être transformé, et la vieille presse fut éliminée. En revanche, le cylindre pneumatique utilisé pour le serrage pouvait encore être utilisé.

#### D. Principes généraux de l'analyse des besoins

L'exemple décrit dans la section ci-dessus montre comment appliquer les préceptes généraux suivants :

- a) Chiffrer les coûts;
- b) Déterminer avec précision la situation actuelle;
- c) Etudier les diverses options possibles;

- d) Choisir l'option la meilleure au point de vue de l'exploitation et du coût;
- e) Améliorer l'opération pas à pas, en fonction des besoins immédiats et des moyens disponibles;
- f) Faire passer l'amélioration du matériel en place avant son remplacement;
- g) Faire participer le personnel de l'entreprise à la recherche des solutions.

E. Besoins d'automation à coût modéré propres à l'industrie du meuble et de la menuiserie

En analysant les besoins d'ACM propres à la petite industrie du meuble et de la menuiserie, il convient de procéder par opérations distinctes : manutention des matériaux, mise en place, serrage, usinage, montage.

Manutention des matériaux

La manutention des matériaux n'augmente pas par elle-même la valeur du produit : les opérations en cause doivent donc être rendues aussi rapides que possible.

Alimentation

A l'exception des machines extrêmement automatisées, les machines à bois sont en général alimentées à la main. Cette alimentation manuelle manque d'efficacité en raison de la longueur de l'intervalle qui précède la présentation de chaque pièce à la machine : autrement dit, les machines sont sous-utilisées. En outre, l'alimentation manuelle risque d'endommager le matériel; par exemple, il arrive que la lame d'une scie à table soit abîmée à la suite d'une mauvaise alimentation. Dans la plupart des cas, on peut améliorer l'alimentation en utilisant des procédés standard : transporteurs, cylindres à air comprimé ou à huile, alimentateur électrique, etc.

Transport

Les opérations de transport à l'intérieur de l'usine sont une perte de temps et doivent être évitées. Si c'est impossible, il convient d'utiliser des moyens mécaniques : transporteurs à bandes, palettes ou caissons mobiles.

Rotation et éjection

La rotation et l'éjection automatiques de la pièce, et l'éjection automatique des déchets, peuvent augmenter le rendement des tenonneuses, mortaiseuses, perceuses, fraiseuses, raboteuses, scies, etc., en évitant aux ouvriers qualifiés de perdre un temps précieux. Le matériel pneumatique est particulièrement utile pour ce type d'opérations automatiques.

### Empilage

L'ACM peut améliorer l'empilage des produits usinés. Le circuit du cylindre A figurant dans l'exemple cité au chapitre IX, section F, peut être utilisé à cette fin, si le contacteur S est remplacé par un interrupteur fermé-ouvert.

### Mise en place

La présentation de la pièce à la machine est une opération qui doit être faite avec soin, et qui prend donc relativement beaucoup de temps. L'ACM peut servir dans certains cas, par exemple pour le perçage à cheviller, le mortaisage, le tenonnage, le défonceage et les autres opérations où c'est l'outil qui est appliqué à la pièce. On peut également appliquer l'ACM à la mise en place des pièces lourdes, comme dans le cas des opérations de recouvreage.

### Serrage

Le serrage par les méthodes d'ACM peut remplacer le serrage par étau, même quand l'étau est utilisé pour un travail manuel (par exemple, le ciselage). L'ACM permet un serrage plus rapide et plus facile. Le temps économisé peut être consacré à des activités productrices.

### Usinage

Les machines dont certains éléments sont opérés à la main peuvent être complétées par l'ACM. Ceci ne permet pas seulement de limiter la fatigue de l'ouvrier et d'augmenter le rendement, mais aussi de prolonger la vie de l'outil et d'améliorer la qualité du produit en maintenant une vitesse d'alimentation appropriée. L'ACM a déjà été appliquée avec succès aux tronçonneuses à glissière, aux mortaiseuses, aux défonceuses (tables mobiles en hauteur) et aux foreuses.

Il peut être possible de concevoir des versions ACM plus simples et moins coûteuses de certaines machines à prix élevé. La presse à refouler décrite au chapitre IX, section M, en constitue un bon exemple.

### Montage

Les opérations de montage peuvent elles aussi être facilitées par l'ACM. On en a déjà vu un exemple dans la figure 4 (chapitre II).

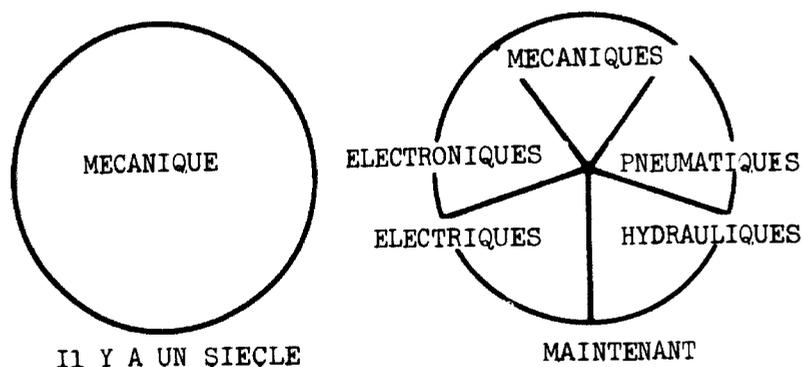
#### IV. LES PRINCIPAUX PROCÉDES D'AUTOMATION A COUT MODERE

Ce sont les procédés mécaniques qui ont été utilisés les premiers pour automatiser les opérations dans l'industrie du meuble. En effet, si les possibilités des systèmes pneumatiques, hydrauliques ou électriques n'étaient pas ignorées, l'insuffisance des techniques intermédiaires en interdisait l'application pratique. Encore aujourd'hui, le terme "mécanisation" est utilisé pour désigner les formes d'automation les plus simples.

A mesure que la technologie se développait, les procédés pneumatiques, hydrauliques, électriques et électroniques utilisables pour rendre les opérations industrielles plus autonomes (c'est-à-dire plus automatiques) se sont généralisés eux aussi (voir figure 11). En les combinant, les ingénieurs spécialistes peuvent maintenant concevoir des systèmes perfectionnés, englobant même la commande des opérations.

Figure 11

Types de procédés applicables à l'automation



A mesure qu'apparaissaient les procédés nouveaux, on inventait évidemment une terminologie nouvelle pour les désigner. Par exemple, depuis l'apparition des systèmes pneumatiques, on peut parler de "pneumatation" mot composé de "pneumatique" et de "automation".

Dans les pages ci-après, les divers types de procédés sont étudiés au point de vue de leur application à l'ACM, dans l'ordre suivant :

- Procédés mécaniques;
- Procédés pneumatiques;
- Procédés hydrauliques;
- Procédés électriques;
- Procédés électroniques.

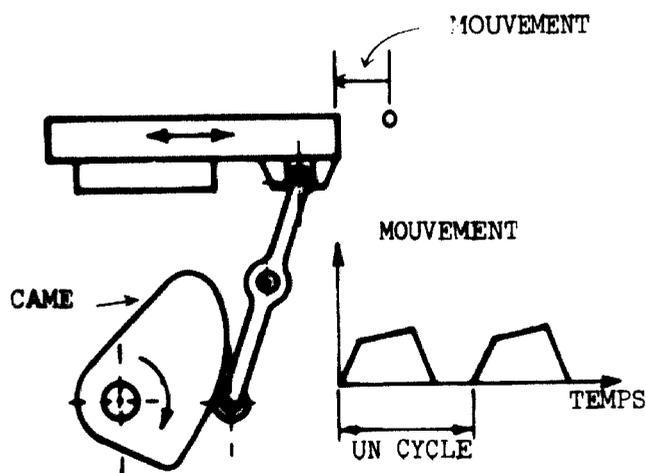
Les procédés électroniques seront presque exclusivement à la commande des opérations; les autres types de procédés sont utilisés en outre pour les opérations industrielles proprement dites, c'est-à-dire pour produire les mouvements nécessaires à la fabrication. A cet égard, il convient de se rappeler que ces mouvements sont des combinaisons de deux mouvements de base : les mouvements rectilignes et les mouvements circulaires.

#### A. Procédés mécaniques

Le principal engin mécanique utilisé dans l'automatisme est la came, dont on se sert pour produire divers mouvements. Toutes les opérations manuelles - mouvements de leviers et rotations de volants dans un ordre établi - sont remplacées par un système d'arbre à cames, celles-ci revêtant différentes formes ou différents profils (voir figure 12). Ces cames actionnent des leviers qui donnent l'impulsion nécessaire aux différents éléments de la machine. En général, une révolution de l'arbre à cames correspond à un cycle complet d'opérations. En réglant la vitesse de l'arbre, on obtient donc un certain nombre de cycles pour un temps donné. La forme des cames détermine la vitesse et le moment voulus pour chacune des opérations correspondantes.

Figure 12

Direction mécanique à cames

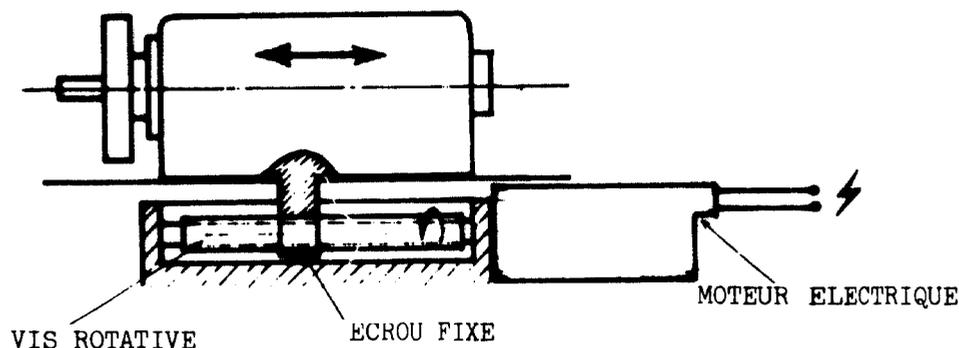


Une installation comme celle qui vient d'être décrite se charge des opérations intellectuelles et manuelles que faisaient auparavant les ouvriers. On trouve encore ce type de procédé purement mécanique dans les tenonneuses et les mortaiseuses datant d'une certaine époque, ainsi que dans quelques machines modernes à coût modéré. Cependant, la méthode de base de ces procédés, c'est-à-dire le contrôle temporel de la séquence d'opérations, n'offre pas les possibilités qu'exigent les machines modernes.

La figure 13 décrit un autre procédé mécanique, le dispositif vis-écrou, qui est souvent utilisé dans les systèmes d'ACM pour convertir un mouvement circulaire en un mouvement rectiligne.

Figure 13

Conversion d'un mouvement  
circulaire en un  
mouvement rectiligne



Les systèmes mécaniques présentent les avantages suivants :

- a) Grande sûreté de fonctionnement;
- b) Excellente synchronisation;
- c) Entretien relativement aisé et pouvant être confié au personnel d'entretien de l'entreprise.

En revanche, ces systèmes présentent certains désavantages :

- a) Dans la plupart des cas, les pièces doivent être spécialement conçues, ce qui exige un personnel spécialisé;
- b) La plupart de ces mécanismes manquent de flexibilité; une fois fixé, le programme est difficile à modifier;
- c) Le remplacement du "programme" est très coûteux, les pièces n'étant pas standard et devant parfois être fabriquées spécialement;
- d) Quand il faut relier entre elles des machines séparées par une certaine distance, le système mécanique devient trop coûteux : par exemple, transmission de l'effort moteur au moyen d'un arbre long;
- e) Il est difficile d'incorporer dans un système mécanique un dispositif de contrôle de diverses opérations du programme (par exemple, en cas d'accident à un instrument).

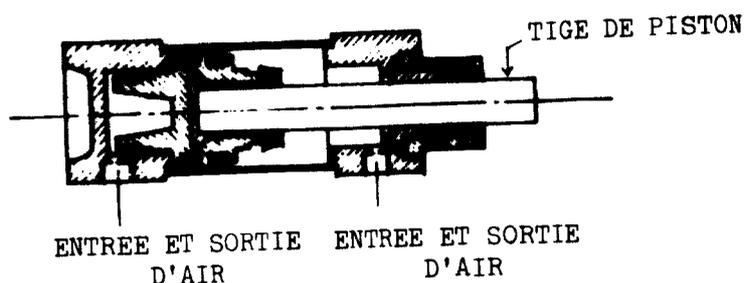
De façon générale, et excepté lorsqu'il s'agit d'améliorer des équipements mécaniques déjà en place, les projets d'ACM prévoyant des systèmes mécaniques sont considérés comme trop difficiles ou trop coûteux. Cela ne veut pas dire cependant que ces projets doivent être rejetés, lorsque les dépenses qu'ils entraînent sont justifiées.

### B. Procédés pneumatiques

Il est facile de produire un mouvement de va-et-vient au moyen d'un cylindre pneumatique (voir figure 14), et c'est généralement la solution la meilleure quand elle peut être retenue.

Figure 14

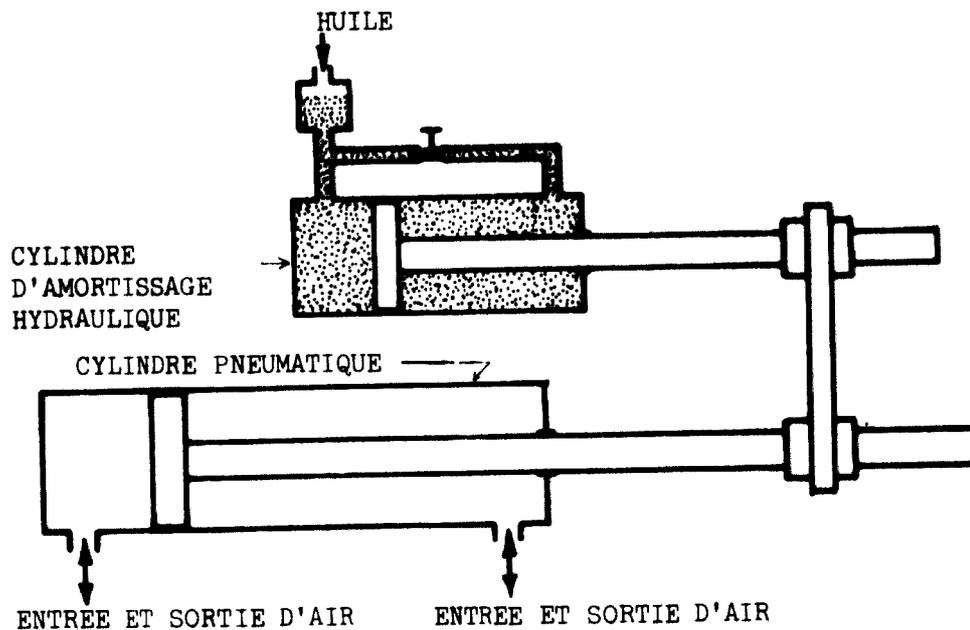
Cylindre pneumatique à double effet



Comme les cylindres pneumatiques fonctionnent à l'air, lequel est compressible, la vitesse d'un piston est difficile à contrôler quand elle est faible. Par exemple, si la vitesse du piston descend au-dessous d'un seuil d'environ 75 mm/mn, il en résulte un mouvement irrégulier (pulsations). Il est vrai qu'on peut lutter contre ces irrégularités au moyen d'un amortisseur hydraulique, qui permet de maintenir une vitesse minimum constante d'environ 40 mm/mn. Ce système est décrit dans la figure 15.

Figure 15

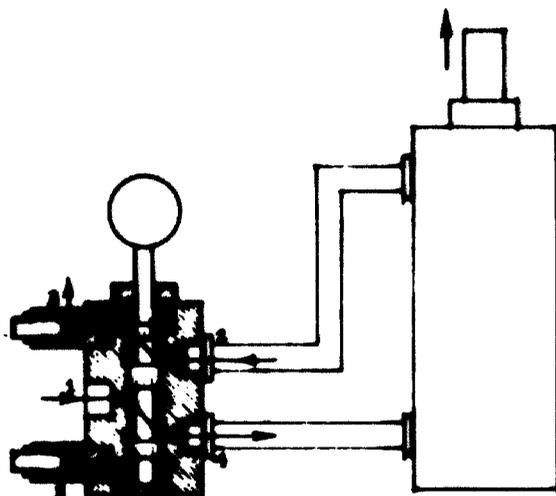
Cylindre pneumatique à double effet, avec cylindre parallèle d'amortissage hydraulique



Pour commander le mouvement de va-et-vient du piston, des distributeurs pneumatiques envoient l'air comprimé vers une face du piston, puis vers l'autre, en laissant chaque fois l'air sortir à l'autre extrémité du piston. Le distributeur représenté dans la figure 16 a deux ou trois positions distinctes. Il est actionné à la main ou par un procédé mécanique, électrique ou pneumatique, selon le cas.

Figure 16

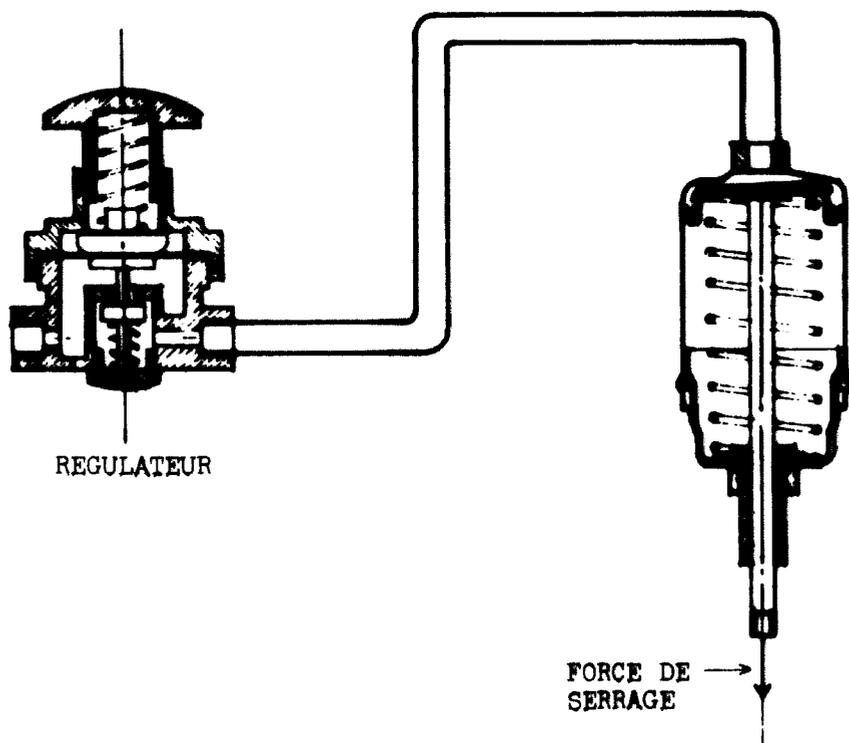
Distributeur à trois sens de flux



Les systèmes pneumatiques offrent notamment l'avantage qu'on peut en régler la vitesse par une simple réduction de l'arrivée ou de la sortie d'air. La deuxième méthode donne des vitesses plus régulières. Parfois, cependant, comme par exemple dans le cas des cylindres à simple effet, il n'est pas question d'utiliser la sortie d'air, puisqu'il n'y en a pas : le réglage ne peut donc se faire que par l'arrivée d'air. Ces systèmes ont aussi pour avantage que l'on peut fixer et maintenir la pression de l'air au niveau requis par une simple correction du régulateur de pression, par exemple, pour obtenir la force nécessaire à une opération de serrage, on placera avant le cylindre un régulateur fixé pour ladite force (voir figure 17).

Figure 17

Cylindre à simple effet,  
avec régulateur de pression  
pour opération de serrage



Jusqu'à présent, nous n'avons décrit que des procédés pneumatiques produisant un mouvement rectiligne. Pour les mouvements circulaires, on peut utiliser des moteurs à air comprimé, commandés par des distributeurs du même type que celui décrit ci-dessus. En général, il s'agit de moteurs à palettes ou à pistons. Dans les premiers, la rotation de l'arbre est produite par l'action de l'air sur les palettes fixées à l'arbre. Les seconds sont analogues aux moteurs à combustion, excepté que la source d'énergie est l'air comprimé au lieu de la vapeur ou d'un carburant.

Les foreuses, les clefs, les serre-écrou, les visseuses et les meules constituent une catégorie distincte d'engins pneumatiques à main. Par comparaison avec les outils électriques correspondants, ils présentent les avantages ci-après :

- a) A puissance égale, ils sont plus compacts et plus légers;
- b) On peut varier leur vitesse à l'infini en modifiant l'arrivée d'air, le mouvement de rotation variant évidemment en conséquence;
- c) Ils peuvent être soumis à un régime excessif, ou caler, sans risque d'accident;
- d) Leur fabrication est simple, et les pièces sont aisées à changer, d'où un entretien facile.

La consommation d'air de ces outils pneumatiques, parfois élevée pendant le fonctionnement, reste généralement faible si on ne les utilise que de façon intermittente. Dans un atelier de montage, par exemple, un serre-écrou pneumatique ne sera utilisé que pendant deux secondes, sur un cycle de 30 secondes.

Pour résumer, les systèmes pneumatiques d'automatisme présentent en particulier les avantages suivants :

- a) Les possibilités d'adaptation sont nombreuses;
- b) La force produite est facile à régler (par un régulateur de pression);
- c) La tuyauterie est plus simple que dans les systèmes hydrauliques (pas d'évacuation);
- d) La source d'énergie (air comprimé) est relativement exempte de danger, car la pression dans les conduites n'est généralement que de 7 à 10 bars (dans certains cas, cependant, le réservoir d'air comprimé est soumis à des règles de sécurité);
- e) Les engins à air comprimé peuvent caler sans risque d'accident;
- f) L'air comprimé est facile à acheminer jusqu'au point d'utilisation, quel qu'il soit.

Les désavantages sont les suivants :

- a) La compressibilité de l'air est parfois un inconvénient dans les systèmes où le régime varie, mais où la vitesse désirée doit être à peu près constante. Comme on l'a déjà indiqué, un amortisseur hydraulique est nécessaire pour remédier à cet inconvénient;
- b) Comme source d'énergie, l'air est relativement onéreux par rapport à l'énergie hydraulique ou électrique.

Etant donné leurs avantages, les systèmes pneumatiques sont les plus couramment utilisés dans les installations d'ACM.

### C. Procédés hydrauliques

Les procédés hydrauliques et les procédés pneumatiques sont actionnés les uns et les autres par la pression d'un fluide : liquide (huile) dans les procédés hydrauliques, gaz (air) dans les procédés pneumatiques.

Cependant l'huile et l'air ont des propriétés très différentes, et l'utilisation de ces deux types de procédés diffère en conséquence. Les cylindres hydrauliques sont relativement plus petits que les cylindres pneumatiques. En outre, comme l'huile est pratiquement incompressible, les cylindres hydrauliques peuvent être réglés avec précision, même à très faible vitesse.

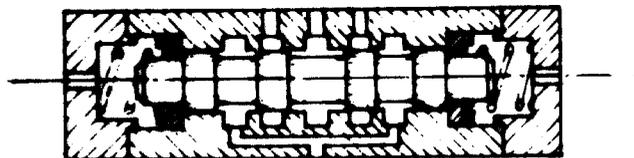
Les systèmes hydrauliques nécessitent une pompe spéciale pour alimenter chaque élément en huile, en quantité suffisante et sous la pression requise. Ceci peut être un inconvénient par rapport aux systèmes pneumatiques, qui n'ont besoin que d'un seul compresseur, quel que soit le nombre d'éléments que comporte le système.

Les engins utilisés pour produire un mouvement de va-et-vient sont également des cylindres, comme dans les systèmes pneumatiques. Le cylindre est commandé par un distributeur hydraulique qui envoie l'huile vers l'une ou l'autre face du piston. Ce distributeur peut être actionné comme les distributeurs pneumatiques. Cependant, il existe certaines différences essentielles. Par exemple, la plupart des distributeurs hydrauliques comportent plus de deux positions, afin que le flux du liquide puisse être orienté vers plusieurs directions différentes à l'intérieur d'un même distributeur. La figure 18 décrit un distributeur à trois positions.

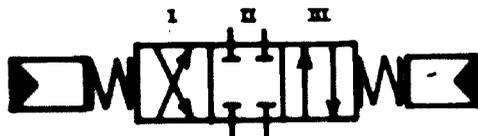
Les systèmes hydrauliques ont également pour caractéristiques que l'huile utilisée pour mouvoir un engin est récupérée dans un réservoir alors que dans les systèmes pneumatiques, l'air utilisé s'échappe et n'est pas récupéré. En outre, comme la pression est plus grande, les conduites hydrauliques doivent être assemblées plus hermétiquement et avec plus de précision. Les mêmes précautions s'imposent pour les différents éléments qui composent le système. Les tuyauteries et les éléments hydrauliques sont donc plus compliqués et plus onéreux.

Figure 18

Distributeur hydraulique à trois positions



Vue en coupe

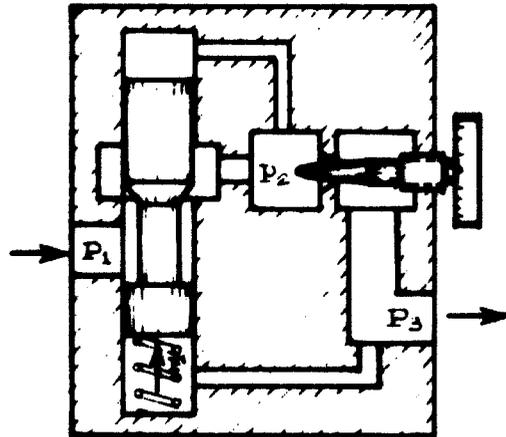


Symbole schématique

Dans les systèmes hydrauliques comme dans les systèmes pneumatiques, la vitesse se règle au moyen d'un instrument qui assure un débit constant du fluide à travers les orifices, quelles que soient les variations de pression (voir figure 19). Cette méthode a l'inconvénient d'entraîner des pertes d'énergie relativement élevées, la pompe étant conçue pour la quantité de liquide nécessaire aux plus hautes vitesses. Le liquide inutilisé doit donc être renvoyé dans un réservoir au moyen d'une soupape de dérivation. Enfin, le réservoir doit être protégé contre la chaleur dégagée dans la soupape.

Figure 19

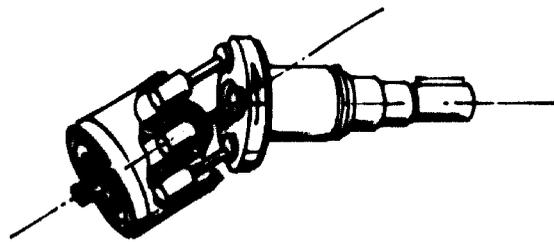
Distributeur hydraulique à débit constant



Un autre procédé de réglage de la vitesse, plus coûteux, consiste à utiliser une pompe à cylindrée variable (voir figure 20). De cette façon, les pertes d'énergie sont limitées; mais il est difficile d'utiliser une pompe pour plus d'un cylindre à la fois, étant donné les différences de consommation d'huile, qui sont parfois considérables.

Figure 20

Pompe hydraulique à cylindrée variable



En général, l'entretien des systèmes hydrauliques, beaucoup plus compliqué que celui des systèmes pneumatiques, exige l'intervention d'ingénieurs spécialisés.

Pour résumer, les procédés hydrauliques ont les avantages suivants :

- a) Dispositifs de petite taille, mais puissants;
- b) Energie, transportable sur de longues distances, par tuyauterie;
- c) Auto-graissage assuré, le système étant à base d'huile;
- d) Nombreuses possibilités d'adaptation;

- e) Aptitude à supporter des régimes de pointe sans diminution de vie utile;
- f) Limitateurs de régime faciles à installer;
- g) Modifications de vitesse illimitées;
- h) Réglage de vitesse et de régime extrêmement précis;
- i) Comme dans le cas des systèmes pneumatiques, raccordement facile avec des systèmes électriques et électroniques;
- j) Frais d'exploitation inférieurs à ceux des systèmes pneumatiques.

Les désavantages sont les suivants :

- a) Frais d'installation supérieurs à ceux des systèmes pneumatiques;
- b) Entretien et installation plus compliqués.

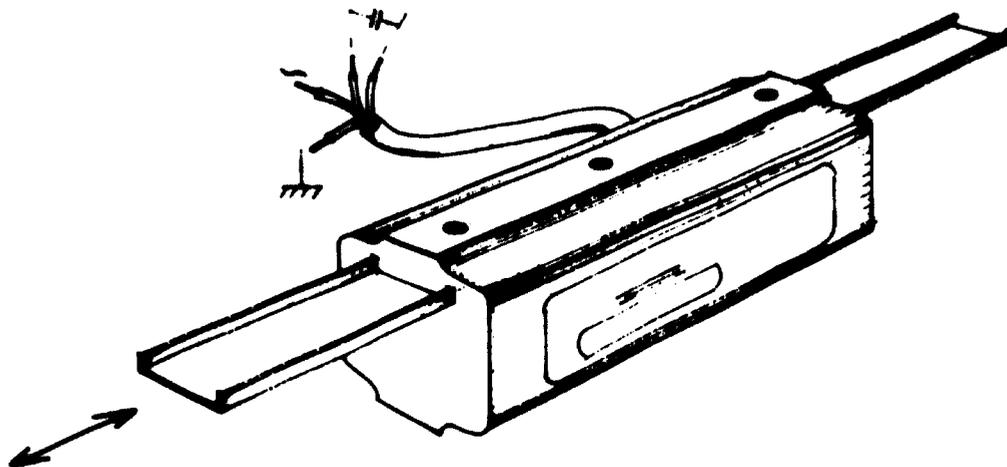
#### D. Procédés électriques

Quand l'énergie nécessaire aux engins de travail doit être transmise à une certaine distance, les systèmes électriques sont en général les moins coûteux. L'engin de travail électrique le plus courant, c'est-à-dire le moteur électrique, n'a besoin que d'être branché sur un secteur suffisamment puissant.

Pour obtenir un mouvement rectiligne, il faut convertir d'une façon ou d'une autre le mouvement circulaire du moteur électrique. A cette fin, on utilise couramment un mécanisme du type vis-écrou, comme celui qui est représenté dans la figure 13. Pour les mouvements rectilignes courts, on peut se servir d'une bobine magnétique imprimant le mouvement voulu à une pièce en fer (voir figure 21).

Figure 21

Bobine magnétique pour mouvements  
rectilignes courts



Il est beaucoup plus difficile de régler la vitesse d'un moteur électrique que d'un système pneumatique ou hydraulique. Quand il s'agit d'un moteur à courant alternatif, on peut régler sa vitesse en modifiant la fréquence du courant, mais ceci nécessite une installation spéciale et compliquée. On peut aussi régler la vitesse d'un moteur à courant alternatif en changeant le nombre de ses pôles, mais, dans ce cas, la vitesse change de façon brusque et non pas graduelle.

Il est plus facile de régler la vitesse des moteurs à courant continu, en en modifiant la résistance. On peut obtenir ainsi des modifications de vitesse graduelles, mais la solution est parfois coûteuse. Depuis une dizaine d'années, cependant, on se sert de plus en plus des moteurs à courant continu pour la production indirecte de mouvements rectilignes dans certaines machines spéciales.

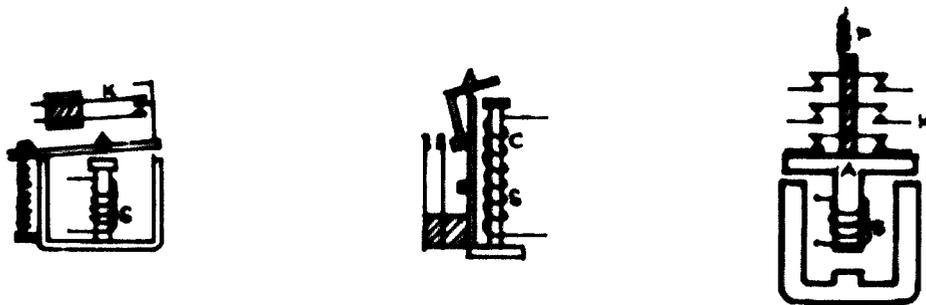
Les moteurs électriques ont l'inconvénient de ne pouvoir rester calés longtemps sans dommage.

Pour la production d'efforts limités, il existe des "cylindres" électriques. Cette invention récente permet de produire une force "non motrice" sans endommager l'installation. Mais, là encore, les procédés pneumatiques ou hydrauliques sont moins coûteux.

Le courant nécessaire aux systèmes électriques est souvent commandé par un relais, c'est-à-dire par un mécanisme électro-mécanique composé de contacts électriques qui sont séparés ou mis en communication par un électro-aimant (figure 22). Il existe de nombreux types de relais, selon la charge et les différents dispositifs de contacts. Il existe également des relais spéciaux, comme par exemple les relais à action différée, les relais d'impulsion et les relais à paliers.

Figure 22

Relais électrique



Dans les systèmes électriques, les rhéostats et les condensateurs peuvent remplir les mêmes fonctions que, respectivement, les régulateurs et les réservoirs des systèmes pneumatiques.

Pour les systèmes de commande du programme, il existe plusieurs types de lecteurs de cartes perforées et d'interrupteurs électriques. Ceux-ci peuvent, par exemple, émettre des signaux à intervalles fixes (commandes temporelles).

### E. Procédés électroniques

Les procédés et les systèmes électroniques sont surtout utilisés pour commander les engins de travail proprement dits, lesquels sont en général des engins électriques, pneumatiques ou hydrauliques.

Les procédés électroniques les plus courants sont les transistors radio. Cependant, dans les systèmes de commande, c'est un autre type, le transistor de commutation, qui est le plus souvent utilisé. Comme tout interrupteur, le transistor de commutation a deux positions, "ouvert" et "fermé", mais, comme il ne comporte aucune pièce mobile, sa vie utile est pratiquement illimitée.

En combinant les transistors avec d'autres éléments électroniques, il est possible de fabriquer des engins modulaires pour remplir des fonctions spéciales. Ces engins sont étonnamment petits, par rapport au grand nombre d'éléments dont certains sont composés.

## V. COMMENT CHOISIR LES ELEMENTS D'UN SYSTEME D'AUTOMATION A COUT MODERE

Il est difficile de donner des règles simples pour le choix des éléments d'un système d'ACM : les facteurs à prendre en considération sont en effet nombreux, quoique parfois les besoins imposent sans conteste un certain type d'éléments plutôt qu'un autre. Lorsque le problème du choix ne se pose pas, on peut commencer par répondre aux questions générales suivantes :

a) Quel est le degré de précision et de rapidité requis ? Ce serait gaspiller son argent que d'acheter un élément d'une extrême exactitude ou d'une parfaite précision de mouvement (et d'un prix en conséquence) là où suffit un élément ordinaire. De même, la présence d'un dispositif à action différée n'est pas forcément nécessaire, et dépend du travail à exécuter;

b) Dans quel milieu le système fonctionnera-t-il ? Par exemple, les commandes pneumatiques sont préférables aux commandes électriques lorsqu'il y a beaucoup de poussière dans l'air (comme dans un atelier de fabrication de meubles);

c) De quelle forme d'énergie dispose-t-on ? S'il existe déjà une installation d'air comprimé (par exemple, dans un atelier de fabrication de meubles, où on l'utilise pour la peinture au pistolet), le choix d'un système pneumatique est à envisager sérieusement;

d) Quelle est la qualité du personnel d'entretien ? Le système choisi doit être tel que ce personnel puisse facilement le réparer, sans recours extérieur. En général, les procédés pneumatiques sont les plus faciles à comprendre;

e) De quelle puissance a-t-on besoin ? Les procédés hydrauliques sont plus puissants que les procédés pneumatiques;

f) Quel est l'intérêt économique du projet ? La solution la moins onéreuse n'est pas nécessairement la meilleure. La véritable question est de savoir si les avantages attendus du système justifient les dépenses engagées.

En général, on se contentera d'un système d'ACM utilisant un seul des principaux types de procédés décrits dans le chapitre précédent. Il arrive cependant que l'on obtienne de meilleurs résultats en combinant plusieurs types de procédés. Par exemple, quand il est impératif d'éviter tout retard dans la transmission des signaux, on emploiera de préférence des éléments électriques pour commander un système essentiellement pneumatique ou hydraulique.

Les renseignements donnés dans le chapitre IV sur les divers procédés utilisables, et les réponses aux questions ci-dessus, devraient fournir une base suffisante pour choisir les types d'éléments à retenir dans un système d'ACM donné. Cela fait, il faudra déterminer les spécifications techniques pour chacun de ces éléments. Le présent chapitre contient les renseignements et les données nécessaires à cette décision, sous une forme facile à comprendre par l'ingénieur chargé de concevoir un système d'ACM.

## A. Éléments pneumatiques

### Terminologie

Il convient tout d'abord d'expliquer certains des termes utilisés pour décrire les éléments à air comprimé.

On appelle "isotherme" la compression ou la dilatation d'un gaz dont la température reste inchangée. Selon la loi de Boyle, qui est l'une des règles fondamentales en matière d'air comprimé, le produit de la pression  $P$  et du volume  $V$  d'un poids donné de gaz parfait reste constant pendant une compression ou une dilatation isotherme :  $PV = \text{const.}$

Exemple : Un cylindre d'un volume de  $283 \text{ cm}^3$ , initialement ouvert à l'air, est fermé, et un piston comprime dans des conditions isothermes l'air contenu dans le cylindre, le ramenant à un volume de  $41 \text{ cm}^3$ . Quelle est la pression finale ? Si l'on désigne par  $i$  et  $f$  les phases "initiale" et "finale", on obtient :

$$\begin{aligned}P_i V_i &= P_f V_f \\P_f &= P_i V_i / V_f = (V_i / V_f) P_i \\&= (283/41) P_i = 6,9 P_i \\&= 6,9 \text{ atm, ou } 103 \text{ livres par pouce carré (psi)} \\&\quad (P_i = 1 \text{ bar} = 14,7 \text{ psi})\end{aligned}$$

Le coefficient de compression,  $r$ , désigne le nombre d'unités volumétriques qui ont été comprimées en une seule unité. Dans le problème ci-dessus, ce coefficient est donc  $r = V_i / V_f = 6,9$ . Bien entendu, il est aussi égal à  $P_f / P_i$ . Une formule pratique pour calculer le coefficient  $r$  dans les opérations d'air comprimé, où  $P_i$  est généralement égal à  $P_a$ , c'est-à-dire à la pression atmosphérique à l'air libre, est  $r = (P + P_a) / P_a$ , dans laquelle  $P$  désigne la pression de travail telle qu'elle est indiquée par un manomètre ordinaire (0 à l'air libre). Dans les pays utilisant le système métrique, où les manomètres indiquent la pression en bars, la formule peut être simplifiée comme suit :  $r \approx P + 1$ .

A un volume donné d'air comprimé, correspond un volume équivalent d'air libre, lequel est égal, comme il résulte des explications ci-dessus, au rapport de compression multiplié par le volume d'air comprimé ( $V_i = r V_f$ ).

### Éléments du système d'alimentation en air comprimé

#### Compresseurs

L'air comprimé est produit par des compresseurs qui ne sont autre chose que des pompes aspirant de l'air soumis à la pression atmosphérique et le renvoyant à une pression plus élevée.

Il y a plusieurs façons de classifier les compresseurs. Aux fins du présent manuel, on se contentera de les classifier selon :

- a) La fréquence du cycle de compression  
(surtout dans le cas des compresseurs à pistons) :
  - i) Compresseurs à simple effet, où la compression nécessite deux courses du piston (course avant et course retour);
  - ii) Compresseurs à double effet, où la compression a lieu à chaque course du piston;
  
- b) La nature du cycle de compression :
  - i) Compresseurs à un étage, où la compression se fait dans un seul cylindre;
  - ii) Compresseurs à deux étages, où la compression commence dans un cylindre et s'achève dans un autre, ce qui répartit l'augmentation de température entre les deux cylindres et permet le refroidissement de l'air comprimé entre le premier et le deuxième étage;
  
- c) Les parties mobiles :
  - i) Compresseurs à pistons, où la compression résulte du mouvement de va-et-vient du piston;
  - ii) Compresseurs centrifuges, conçus pour produire de l'air comprimé en grande quantité et à faible pression, sous l'effet de la force centrifuge dégagée par un rotor à rotation rapide;
  - iii) Compresseurs rotatifs, munis d'un rotor à palettes ou d'un dispositif équivalent monté dans un carter fixe excentré par rapport à l'axe du compresseur, ce qui diminue le volume de l'air à l'intérieur de chaque cylindre.

Dans les fabriques de meubles, le compresseur le plus fréquemment utilisé est le compresseur à pistons, qui permet d'obtenir des pressions allant jusqu'à 10 bars. Les pressions inférieures à 5 bars sont insuffisantes pour certains travaux, tandis que les pressions supérieures à 15 bars risquent de provoquer des formations de givre sur les machines d'ACM, par expansion du refroidissement.

La capacité du compresseur est généralement définie par son débit d'air libre, exprimé en mètres cubes par minute ( $m^3/min$ ) ou en pieds cubes par minute (cfm). Parfois, cette capacité est également définie par le volume d'air libre déplacé, auquel cas il convient pour obtenir le débit d'air libre de multiplier le volume d'air déplacé par le rendement du compresseur.

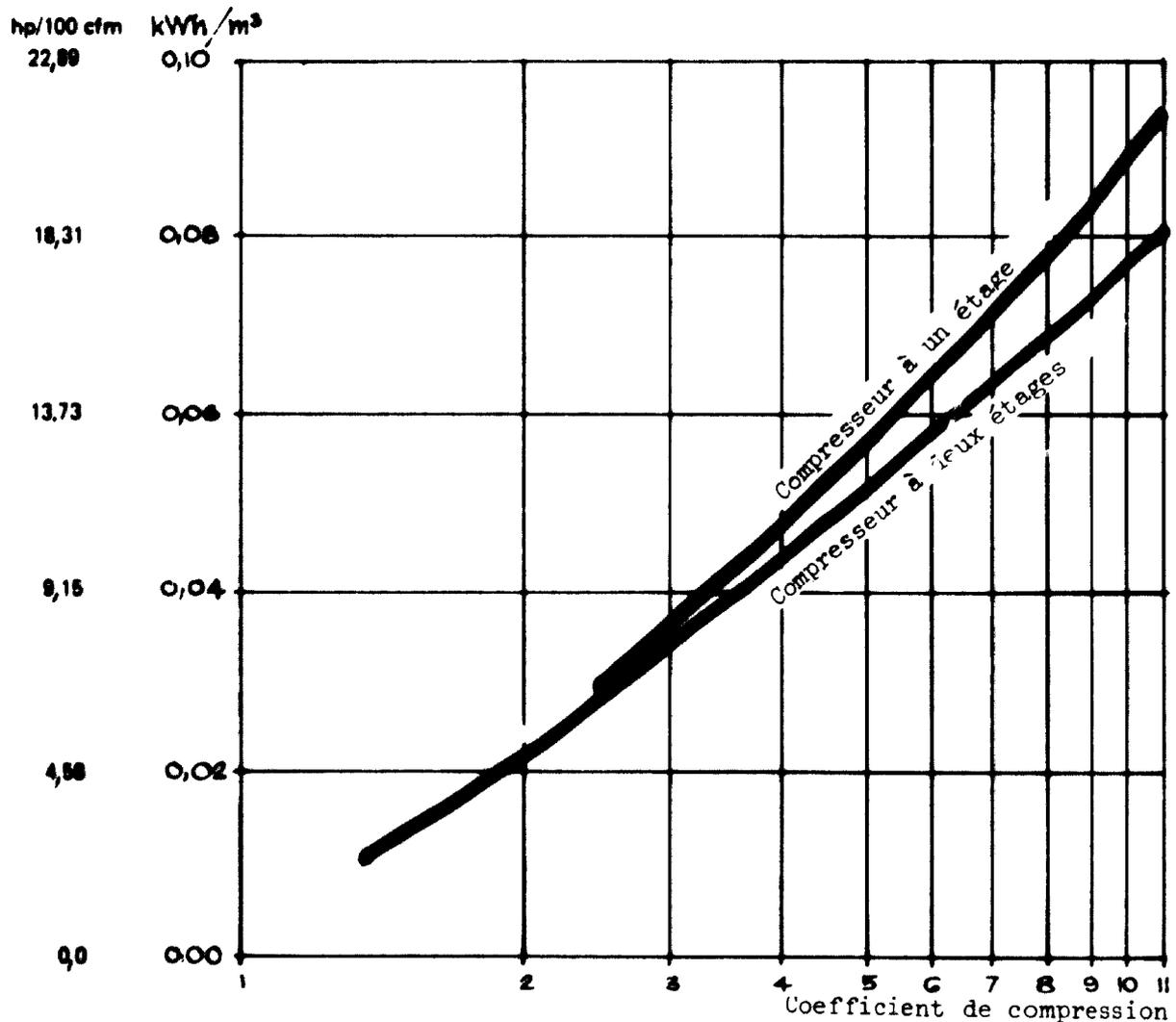
**Exemple :** La capacité d'un compresseur est estimée à  $14 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $500 \text{ cfm}$ ) d'air libre déplacé. Son rendement est de  $88 \%$ . Quel est son débit d'air libre ?

$$\begin{aligned} \text{Débit d'air libre} &= (\text{air libre déplacé}) \times (\text{rendement}) \\ &= 14 \times 88/100 \\ &= 12,46 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (440 cfm)} \end{aligned}$$

La figure 23 indique l'énergie théoriquement requise par les compresseurs à un étage et à deux étages pour fournir une unité volumétrique d'air à un coefficient de compression donné. Il n'y est pas tenu compte du rendement du compresseur, qui n'est en général que de  $35$  à  $50 \%$ , en raison de divers problèmes mécaniques et électriques.

Figure 23

Consommation d'énergie théorique pour la compression de l'air



### Réservoir d'air

Le volume du réservoir d'air doit être au moins égal au volume réel d'air comprimé que produit le compresseur en une unité de temps :

$$v_m = Q/r$$

$V_m$  étant le volume minimum,  $Q$  la production du compresseur en une unité de temps (débit d'air libre) et  $r$  le coefficient de compression. Théoriquement, ce volume minimum suffit pour un système de consommation constante. Pratiquement, il vaut mieux employer un réservoir plus grand, afin de pouvoir faire face aux variations éventuelles de la consommation.

$$V_p = AQ/r$$

$V_p$  étant le volume effectif, et  $A$  désignant un facteur qui varie de 1,5 (consommation constante) à 3,0 (consommation variable).

### Tuyauterie

Dans un système de compresseur (équipé d'un réservoir d'air), les principales conduites menant aux divers points de distribution doivent être inclinées à un angle d'environ  $30^\circ$  par rapport à l'horizontale. Quant aux conduites d'évacuation, munies de valves faciles à ouvrir pour purger le système de l'eau accumulée, elles doivent être reliées au point le plus bas de la conduite principale avant le point de distribution. Ainsi, les engins d'ACM recevront un air pur et sec.

Par ailleurs, il faut veiller à ce que les conduites menant aux engins d'ACM soient reliées au sommet de la conduite principale, afin que les machines ne reçoivent aucune impureté.

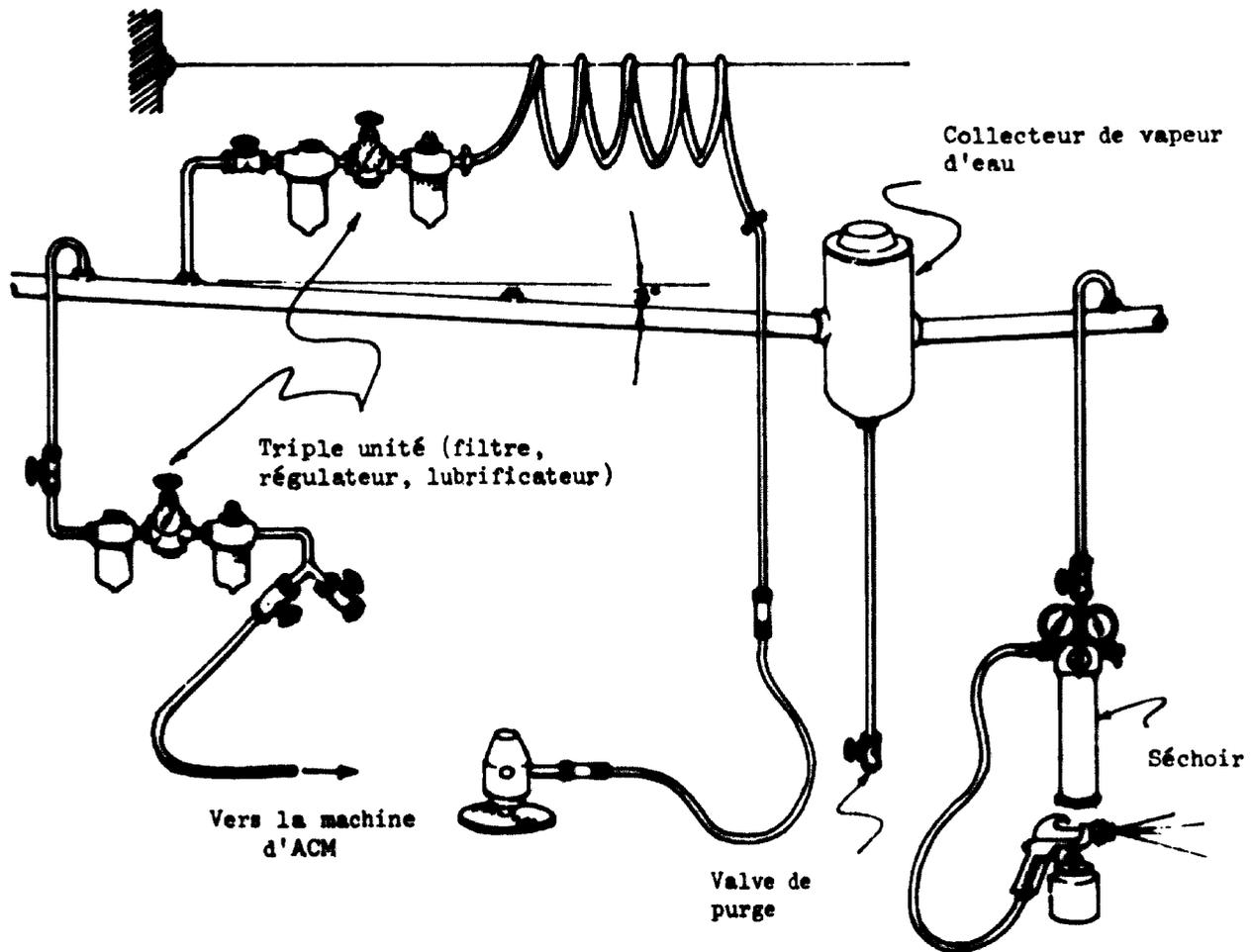
La figure 24 montre un système de tuyauterie conforme aux règles énoncées ci-dessus.

Pour des pressions allant jusqu'à 12 bars, on peut utiliser des conduites d'épaisseur moyenne. Si possible, on les nettoiera avant de les installer.

Comme les conduites relient le réservoir du compresseur à un système qui peut se trouver à une certaine distance, il faut qu'elles soient assez larges pour réduire à un minimum les pertes d'énergie dues aux frictions. Le tableau 1 aidera à trouver la taille qui convient. Pour utiliser ce tableau, on déterminera d'abord le débit d'air à transporter. Après avoir trouvé le chiffre correspondant dans la première colonne, on se reportera à la colonne indiquant la longueur approximative de la conduite, pour y trouver la taille recommandée pour des pertes d'énergie minimum. Par exemple, on peut assurer  $0,7 \text{ m}^3/\text{min}$ . (25 cfm) à une distance de 45,7 m (150 pieds) en utilisant un tuyau ayant un diamètre intérieur de 20,9 mm (0,824 pouce). Si la distance totale est de plus de 45,7 m (150 pieds), on utilisera sur toute la distance une conduite de 26,6 mm (1,049 pouce).

Figure 24

Système de tuyauterie pour air comprimé



Si le débit d'air n'est pas connu, il faut utiliser le tableau en partant de la puissance du compresseur (2ème colonne). Pour les débits non compris dans le tableau, on peut supposer que le rapport débit/puissance est égal à  $0,1 \text{ m}^3/\text{min. par kW}$  ( $3,5 \text{ cfm}/\text{hp}$ ). Ce calcul n'a qu'une valeur approximative, vu que le rapport débit/puissance dépend du rendement du compresseur. En cas de doute, il est préférable d'installer des conduites principales trop larges plutôt que trop étroites : ces conduites serviront de complément au réservoir d'air comprimé.

Tableau 1

TAILLE DES CONDUITES RECOMMANDEES POUR LES SYSTEMES  
DE DISTRIBUTION D'AIR COMPRI ME

Débit		Puissance du compresseur en chev. vap.		Longueur							
				25	50	75	(en pieds)		(en mètres)		
en cfm/min.	en m <sup>3</sup> /min.	(hp)	(kW)				100	150	200	250	300
				7,6	15,2	22,8	30,5	45,7	61	76,2	91,5
5	0,14	1,4	1,0	0,622							
ou moins	ou moins			(15,8)							
10	0,28	2,8	2,1	0,622			0,824				
				(15,8)			(20,9)				
15	0,43	4,3	3,2	0,622	0,824						
				(15,8)	(20,9)						
20	0,56	5,6	4,2	0,824							
				(20,9)							
25	0,70	7,0	5,2	0,824					1,049		
				(20,9)					(26,6)		
30	0,85	8,5	6,3	0,824				1,049			
				(20,9)				(26,6)			
35	1,0	10,0	7,5	0,824		1,049					
				(20,9)		(26,6)					
40	1,12	11,2	8,4	0,824	1,049						
				(20,9)	(26,6)						
50	1,40	14,0	10,4	1,049							
				(26,6)							
70	2,0	20,0	14,9	1,049				1,380			
				(26,6)				(35,0)			

Source : Air Compression Research Council.

Note : Les chiffres du tableau expriment le diamètre intérieur en millimètres (l'équivalent en pouces étant indiqué entre parenthèses) des conduites standard à utiliser pour limiter les pertes de pression à un minimum raisonnable sur les distances indiquées.

Le nomogramme de baisse de pression reproduit dans la figure 25 peut également servir au choix des conduites. Les flèches montrent comment utiliser ce nomogramme pour résoudre le problème suivant :

Supposons que l'on veuille obtenir un débit de  $10 \text{ m}^3/\text{min}$  dans une conduite de 70 mm de diamètre et de 200 m de long. Si la pression initiale à l'entrée de la conduite est de 7 bars, quelle sera la pression finale à la sortie de la conduite ? Pour trouver la réponse, chercher dans la partie droite du nomogramme l'intersection des lignes représentant les valeurs  $10 \text{ m}^3/\text{min}$  et 7 bars, puis remonter diagonalement vers la gauche, jusqu'à la ligne verticale indiquant la longueur de la conduite, c'est-à-dire 200 m. A partir de cette intersection, descendre diagonalement jusqu'à la ligne horizontale correspondant au diamètre de la conduite, soit 70 mm, puis verticalement jusqu'à l'échelle des baisses de pression, où l'on trouvera le chiffre 0,1 bar. La pression d'air effectivement débitée sera donc de  $7 - 0,1 = 6,9$  bars. Tout autre problème mettant en jeu les 5 valeurs représentées dans ce nomogramme peut être résolu de la même façon.

En règle générale, lorsqu'un circuit automatique comprend des soupapes de communication et des cylindres, c'est le diamètre de l'orifice du cylindre qui doit servir de base pour ce calcul. Dans tous les cas, si l'usine possède déjà une installation d'air comprimé, il importe, pour choisir la taille du cylindre, de connaître l'ordre de grandeur des variations de pression et des pressions minimums, de façon à déterminer si le débit d'air comprimé sera suffisant pour actionner les machines. Sinon, il conviendra d'augmenter la capacité de l'installation d'air comprimé.

#### "Conditionneurs" d'air

L'air comprimé peut être considéré comme pleinement saturé de vapeur d'eau. Comme la quantité d'eau qu'un volume donné d'air peut conserver sous forme de vapeur augmente en fonction de la température, toute baisse de température de l'air comprimé saturé provoquera une condensation de vapeur d'eau dans le système. La quantité d'eau ainsi déposée peut suffire à faire obstacle au bon fonctionnement du système pneumatique. Outre la vapeur d'eau, il arrive aussi que l'air comprimé non traité contienne des composés abrasifs et des résidus, qui risquent de causer des dommages considérables aux éléments pneumatiques du système.

Pour remédier à ces inconvénients, un système de conditionnement d'air est nécessaire : à cette fin, un dispositif de traitement de l'air sera placé dans le circuit, avant les cylindres, soupapes et autres instruments, afin de sécher et de filtrer l'air comprimé, d'y ajouter le lubrifiant nécessaire et de régler la pression. Ce dispositif est décrit dans la figure 26 comme une triple unité parce qu'il comprend trois éléments :

1) Filtre-sécheur. Cet élément collecte l'excès de vapeur d'eau et les impuretés contenues dans l'air comprimé, par brassage de l'air brut dans le bol. La force centrifuge fait adhérer les éléments plus lourds que l'air à la paroi du bol, les éliminant ainsi de l'air comprimé dirigé dans la conduite. On nettoie périodiquement le filtre en ouvrant la valve située sous le bol. Ce nettoyage doit avoir lieu avant que le bol soit complètement rempli d'eau, faute de quoi les impuretés seraient renvoyées dans le système.

2) Un régulateur de pression. En réglant le bouton du régulateur de pression, on peut obtenir dans les conduites une pression d'air constante et au niveau voulu. Une pression d'air trop élevée n'est pas à conseiller, la pression en excès n'étant que de l'énergie perdue. On n'oubliera pas que le régulateur de pression ne peut maintenir que des pressions inférieures à celle de la conduite principale de distribution, et qu'il ne peut pas fournir une pression supérieure à la pression d'arrivée.

Figure 25

Nomogramme de baisse de pression

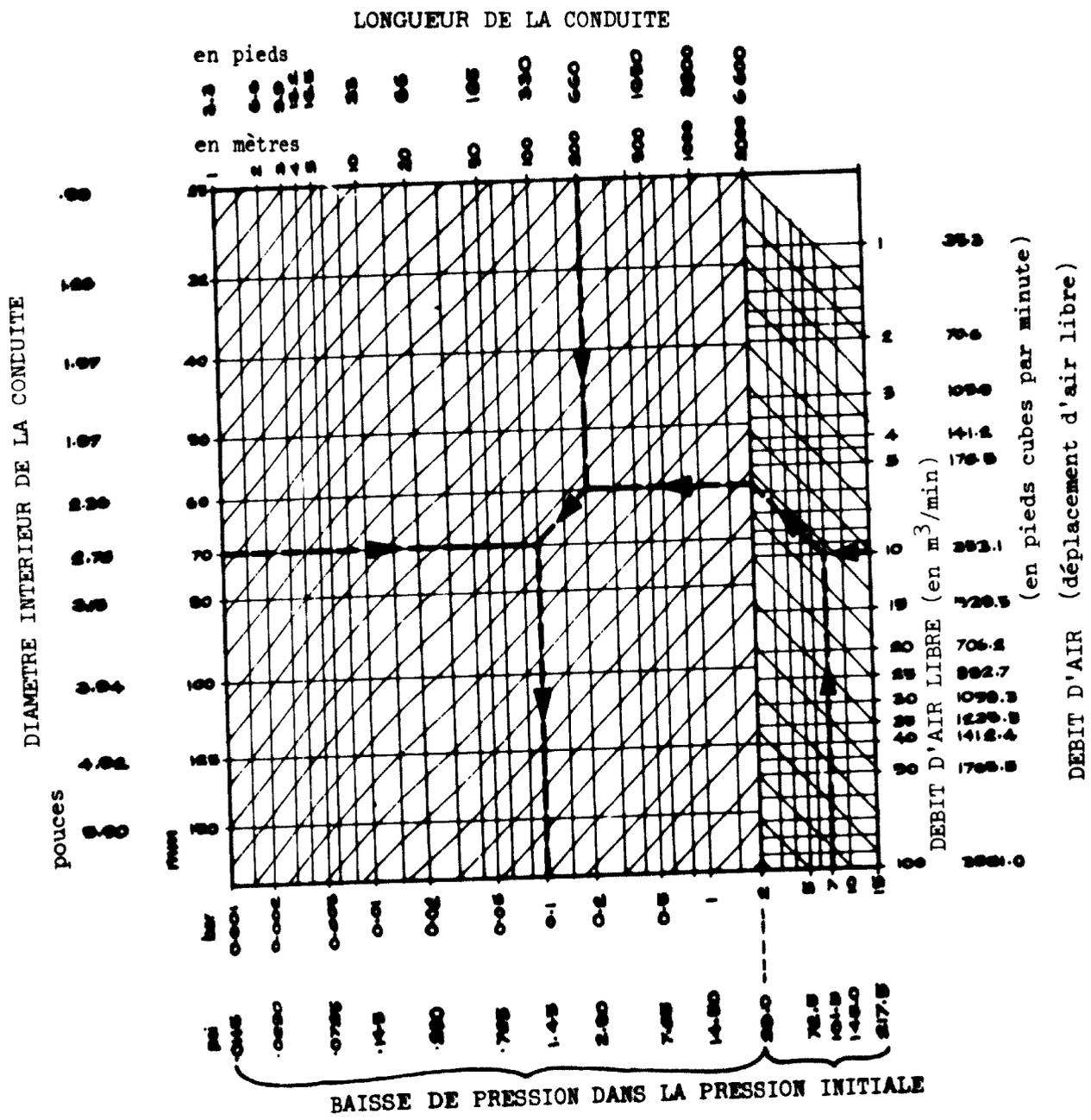
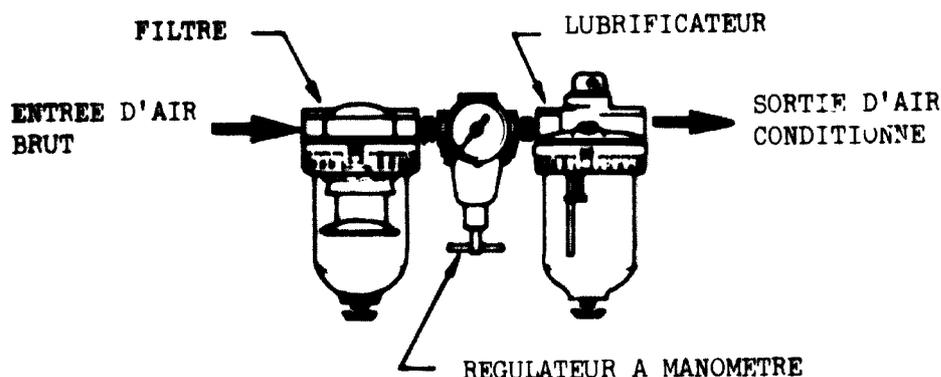


Figure 26

Triple unité : filtre, régulateur  
et lubrificateur



3) Un lubrificateur. Le lubrificateur est un élément important, l'air en soi n'étant pas un lubrifiant. Or, faute de lubrification, les divers éléments du système se détérioreront, ce qui peut raccourcir considérablement leur vie utile.

Les lubrificateurs sont généralement remplis d'une huile légère qui, transformée en fine vapeur, pénètre dans le système en même temps que l'air comprimé. La quantité d'huile entrant dans le système doit être réglée avec soin : si elle est insuffisante, le matériel s'usera; si elle est excessive, il s'encrassera. On observera donc pour régler le lubrificateur la règle pragmatique suivante : faire tomber une goutte d'huile (observable dans la mire du lubrificateur) pour 500 dm<sup>3</sup> (20 ft<sup>3</sup>) d'air libre consommé par le système.

Pour choisir les dimensions de cette triple unité, on observera une autre règle pragmatique qui consiste à prendre une unité supérieure d'une taille au plus gros élément du système.

### Cylindres

Dans le choix d'un cylindre pneumatique, les facteurs suivants sont à prendre en considération :

- Force d'alimentation requise;
- Vitesse d'alimentation requise;
- Distance d'alimentation requise;
- Conditions de montage;
- Forces adverses sur le piston et sur le cylindre;
- Nécessité d'un garnissage d'amortissement;
- Conditions de travail;
- Consommation d'air.

Force d'alimentation requise

La force exercée par le piston d'un cylindre pneumatique dépend de la pression de l'air qui le fait fonctionner et de la surface réelle de la face du piston sur laquelle agit cette pression :

$$\text{Force} = (\text{pression}) \times (\text{surface réelle})$$

Si la pression agit sur la face avant du piston, la surface réelle est  $A = \pi D^2/4$ , formule où D exprime le diamètre du piston, qui est pratiquement le même que l'alésage du cylindre (voir figure 27). La force exercée est une force de compression : elle tend à faire sortir la tige du cylindre. Mais si l'air comprimé entre derrière le piston de façon à agir sur sa face arrière, la surface correspondant à la tige du piston n'est pas productive de force (voir figure 28). Dans ce cas, la surface réelle est A, moins la surface de la tige du piston. La force exercée est alors une force de traction : elle tend à enfoncer la tige dans le cylindre. Il importe de se rappeler que, dans les pistons à simple tige, la poussée est supérieure à la traction, alors que dans les cylindres à double tige, ces deux forces sont égales.

Figure 27

Surface réelle de la face du piston

SURFACE DE 6,452 CM<sup>2</sup> (UN POUCE CARRE)  
(UNE UNITE DE SURFACE)

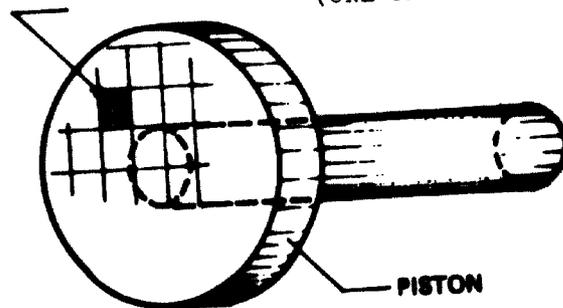


Figure 28

Surface réelle de pression de la face  
du piston liée à la tige

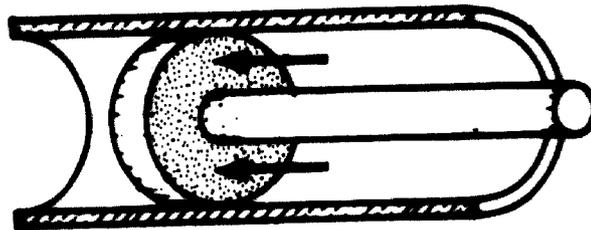
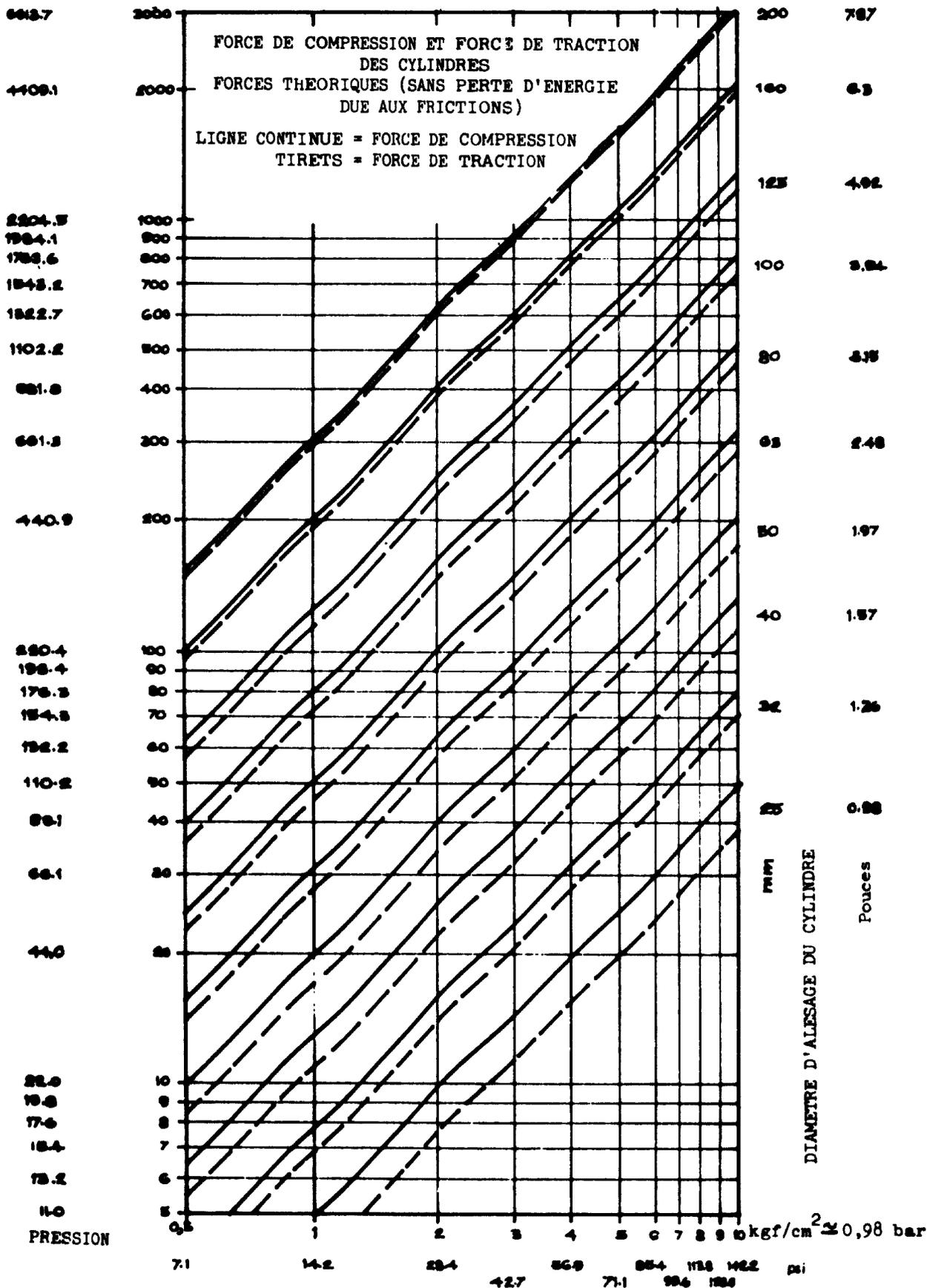


Figure 29

Forces de compression et de traction des cylindres  
 lbf FORCE kgf  $\approx$  9,8 N

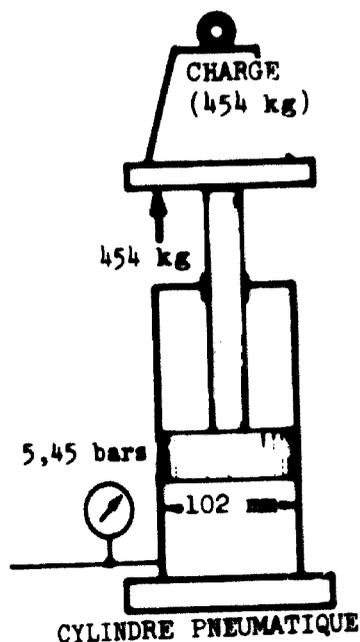


Les forces de compression et de traction des cylindres à air comprimé de 25 à 200 mm selon la pression à obtenir sont indiquées dans le tableau de la figure 29. On peut également avoir recours à ce tableau pour les cylindres hydrauliques à basse pression comme par exemple dans les systèmes mixtes air-huile. Dans un cas comme dans l'autre, cependant, ce tableau ne peut servir que de guide approximatif : en effet, il n'y est pas tenu compte des pertes d'énergie dues à l'effet de friction dans la machine à actionner ou dans le cylindre lui-même. Les pertes d'énergie dans le cylindre peuvent s'élever jusqu'à 5 ou 15 % de la valeur théorique indiquée dans ce tableau. Pour déterminer plus exactement la force réelle, on étudiera attentivement les informations communiquées par le fabricant du cylindre.

La figure 30 décrit un cylindre pneumatique supportant une charge de 454 kg (1 000 livres). Le cylindre a un alésage de 102 mm (4 pouces), et la pression manométrique est de 5,45 bars (80 psi). D'après le tableau de la figure 29, le cylindre produit une force presque exactement égale à la charge : le cylindre ne bougera donc pas. Pour déplacer la charge, il faudrait que le cylindre pneumatique soit de dimension suffisante pour produire une force motrice supérieure à la charge. La valeur exacte de cette différence est fonction de la vitesse du mouvement recherché : plus grande sera la différence et plus rapide sera le mouvement de la charge.

Figure 30

Equilibre force-charge  
d'un cylindre pneumatique



Il y a de nombreux facteurs à prendre en considération pour déterminer la différence entre la force motrice et la charge. Aux fins du présent manuel, on se contentera de la règle pragmatique suivante :

Si la vitesse est sans importance, choisir un cylindre produisant une force de 25 % environ supérieure à la force nécessaire pour faire équilibre à la charge. Pour obtenir des vitesses élevées, choisir un cylindre produisant une force supérieure de 100 %.

#### Vitesse d'alimentation requise

On peut se servir de cylindres pneumatiques pour actionner des outils animés de vitesses allant de 0,07 à 150 mm par minute (0,003 à 6 pouces/minute). Les vitesses inférieures à 50 mm par minute (2 pouces/minute) exigent la présence d'un cylindre d'amortissement hydraulique. La vitesse est un facteur à retenir pour le choix du cylindre. Pour des vitesses élevées, par exemple, un système d'amortissement en fin de parcours sera parfois nécessaire pour limiter la fatigue du métal. La vitesse est également à prendre en considération pour choisir le type de distributeur pneumatique, pour choisir un obturateur fixe ou réglable, et pour déterminer le mode de montage de ces instruments. Il faut également connaître la vitesse du piston, ainsi que le rythme de fonctionnement du cylindre pour calculer la vitesse maximum du flux d'air et, par conséquent, la consommation d'air. En général, les fabricants de cylindres indiquent la consommation d'air pour les divers rythmes de fonctionnement et les divers diamètres de cylindres. Cependant, l'ingénieur lui-même peut faire certains calculs concernant la consommation d'air : la quantité d'air nécessaire par minute est égale à la surface du piston, multipliée par le nombre de courses par minute, multipliée par la longueur de cette course. Le chiffre obtenu indique la consommation en volume d'air comprimé (et non pas d'air libre). Pour faire le même calcul dans le cas des cylindres à double effet, on tiendra compte de la surface réelle de chaque face du piston ainsi que des deux courses (aller et retour).

#### Distance d'alimentation requise

Pour choisir la longueur de la course du piston, on déterminera si son mouvement doit correspondre exactement à la longueur d'alimentation requise par la machine actionnée. Dans l'affirmative, il importe de spécifier la longueur du mouvement et de faire fabriquer le cylindre en conséquence. Dans certains cas, cependant, une course trop longue n'est pas un inconvénient, car on peut assortir le cylindre d'un taquet extérieur. On pourra alors se contenter de cylindres à course standard, choisis dans les catalogues de fournisseurs.

#### Conditions de montage

Les cylindres peuvent être montés de plusieurs façons au moyen de fixations standard. Il existe des fixations différentes pour le cylindre et pour la tige du piston. Un montage défectueux peut causer des dommages au cylindre ainsi qu'à la machine qu'il actionne.

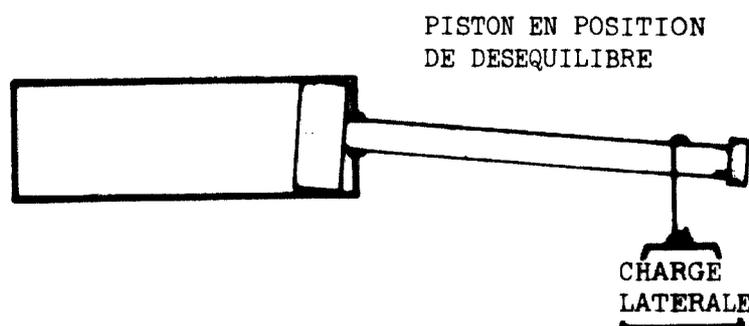
#### Forces adverses sur le piston et le cylindre

Outre les forces résultant d'un montage défectueux, deux types de forces adverses peuvent s'exercer sur le piston et le cylindre.

Premièrement, lorsque le piston est soumis à des pressions radiales (voir figure 31), certaines forces peuvent s'exercer sur le joint du cylindre ou sur ses parois internes. Ces parties du cylindre, qui ne sont pas conçues pour résister à de telles forces, risquent d'être endommagées prématurément.

Figure 31

Résultat de forces latérales sur un piston

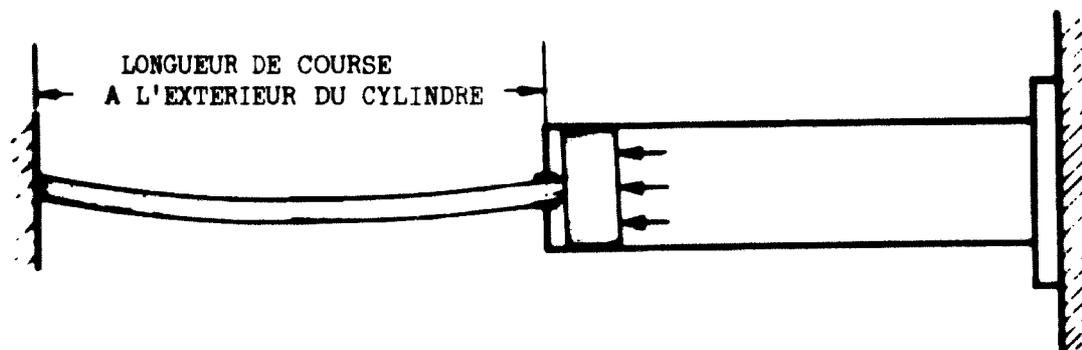


Pour prévenir les pressions latérales trop élevées, il importe de monter les cylindres avec soin, afin que le piston ne soit freiné en aucun point de sa course. Le cas échéant, on utilisera un dispositif de guidage ou un mécanisme faisant contrepoids, afin de veiller à ce qu'aucune force latérale ne soit transmise au piston.

Deuxièmement, le piston est exposé au flambage si sa course est trop longue par rapport au diamètre de la tige (voir figure 32). Le tableau de la figure 33 peut servir de guide pour choisir le diamètre de tige qui convient en fonction de la longueur de course du piston.

Figure 32

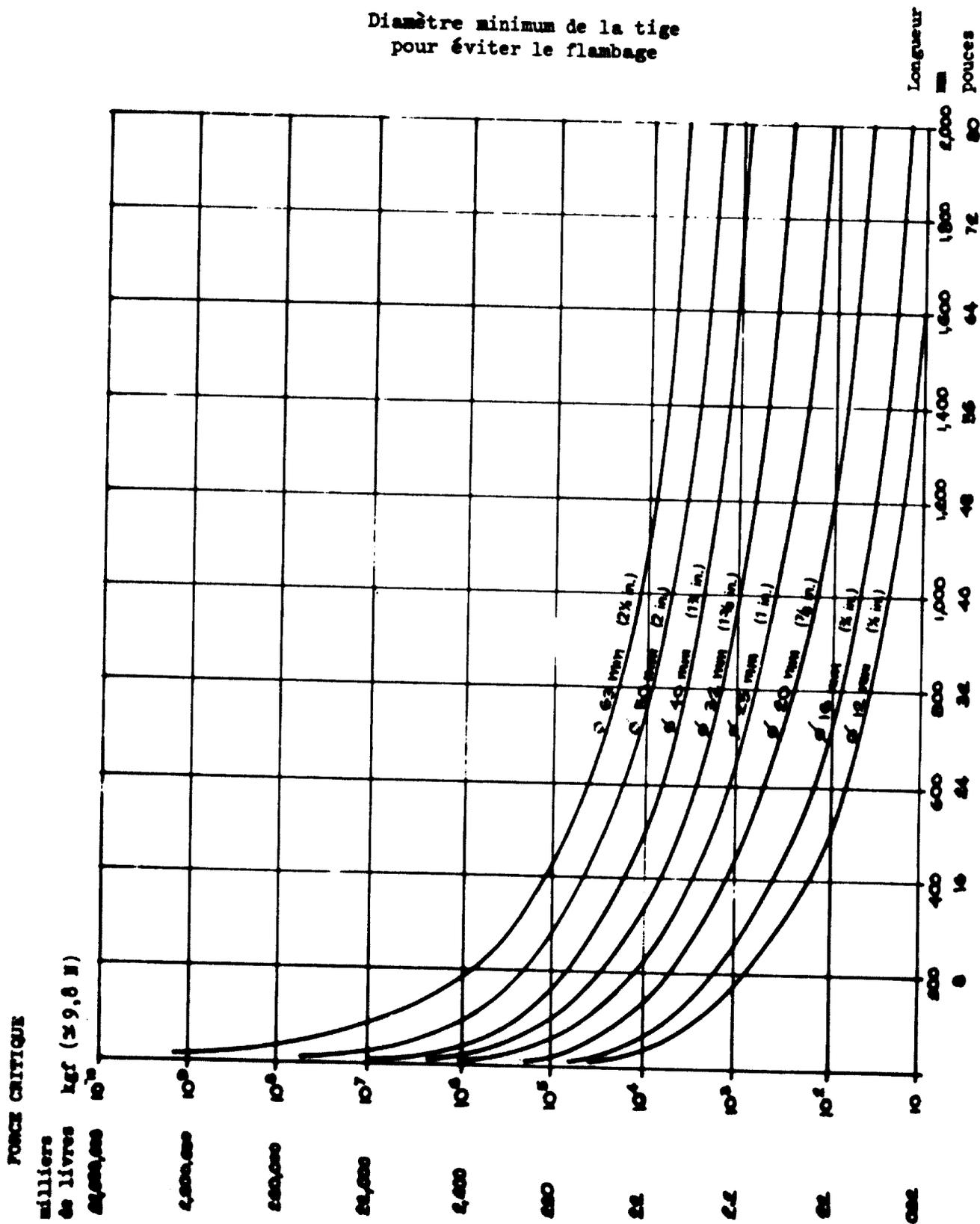
Flambage de la tige



Pour utiliser ce tableau, chercher en abscisse la longueur de la tige non protégée par le cylindre à course maximum, et en ordonnée le chiffre correspondant à la charge. L'intersection des lignes correspondantes indique le diamètre minimum de la tige.

Figure 33

Diamètre minimum de la tige  
pour éviter le flambage



### Nécessité d'un garnissage d'amortissement

Les cylindres à grande vitesse de piston et ceux qui actionnent une machine relativement lourde doivent être équipés de freins de fin de course, qui réduisent la vitesse du piston pendant la dernière partie de son mouvement, de façon à limiter les forces mécaniques exercées sur le cylindre et sur la machine actionnée. Le retard produit par ces freins peut être réglé.

### Conditions de travail

Plusieurs types de cylindres ont été mis au point pour correspondre aux diverses conditions de travail. Heureusement, les conditions de travail dans l'industrie du meuble et de la menuiserie ne sont pas aussi dures que dans l'industrie chimique. On n'aura donc pas besoin de cylindres spécialement résistants (lesquels sont évidemment plus coûteux).

### Consommation d'air

La consommation d'air d'un cylindre est en fonction directe de sa cylindrée, c'est-à-dire du volume d'air comprimé consommé à chaque course du piston. Pour calculer la consommation d'air libre, il convient de multiplier la cylindrée du cylindre par le coefficient de compression (voir le premier paragraphe de la présente section intitulé "Terminologie").

Exemple : Un cylindre a une cylindrée de  $721 \text{ cm}^3$  ( $44 \text{ in}^3$ ).  
Quelle est la consommation d'air libre pour une  
pression manométrique  $p = 4,08 \text{ bar gauge}$  ( $60 \text{ psig}$ ).

Coefficient de compression  $r = P + 1 = 5,08$   
Déplacement d'air libre  $= r \times (\text{déplacement d'air comprimé})$   
 $= 5,08 \times 44$   
 $= 224 \text{ in}^3$   
 $= 0,13 \text{ ft}^3$  ( $3,663 \text{ cm}^3$ )

### Soupapes

Pour choisir les soupapes, il faut connaître exactement leurs fonctions, leurs modes de fonctionnement et de montage et leur capacité.

### Fonctions

Les soupapes servent à commander ou à régler la direction de l'air, son débit ou sa pression. Il existe des soupapes distributrices à deux, trois ou cinq orifices, et à deux ou plus de deux positions. Les soupapes de réglage du débit peuvent être variables ou fixes, avec ou sans dispositif de retour. Les soupapes de réglage de la pression sont munies ou non d'une sortie secondaire.

### Capacité

La taille de la soupape doit correspondre au débit de l'air qui la traverse. Pour un débit égal, les pertes de pression sont plus fortes dans une petite soupape que dans une grande. La capacité de la soupape peut d'ailleurs être définie par les baisses de pression qui se produisent par rapport au débit dans les divers orifices d'arrivée. Cette capacité est généralement indiquée dans les schémas fournis par le vendeur.

Parfois aussi, la capacité est définie uniquement par le débit : sauf indication contraire, il s'agit alors de la quantité d'air traversant la soupape dans des conditions normales et pour une perte de pression de 0,2 bar (3 psi).

### Fonctionnement

Les soupapes peuvent être munies de divers dispositifs de commande directe ou à distance. La commande directe signifie que la soupape est activée à la main (au moyen d'un bouton, d'une poignée, etc.) ou mécaniquement (au moyen d'un levier par exemple). La commande à distance signifie que la soupape est activée par un signal pneumatique ou électrique provenant d'une certaine distance. Des deux systèmes, la commande directe est le plus simple et aussi le plus sûr. Son inconvénient est que la soupape doit être proche de l'opérateur. C'est surtout pour remédier à cet inconvénient que l'on a recours à la commande à distance, bien qu'elle soit moins sûre, plus compliquée et plus onéreuse. On peut cependant concevoir des systèmes de commande à distance où la commande directe reste possible en cas de défaillance.

La commande à distance par signaux électriques a l'avantage d'être plus rapide que la commande par signaux pneumatiques. Mais elle est plus coûteuse en raison du prix des solénoïdes.

### Montage

La plupart des soupapes sont conçues de façon à pouvoir être montées de différentes façons. Par exemple, les conduites peuvent être directement reliées au bloc de la soupape ou par l'intermédiaire d'une plaque de montage spéciale. Cette dernière méthode se généralise de plus en plus : elle permet en effet de changer facilement la soupape en cas de défaillance. Pour les soupapes à commande manuelle, on peut aussi utiliser la technique du montage sur boîtier : la soupape est alors enfermée dans une boîte à l'extérieur de laquelle se trouve la commande.

## B. Éléments hydrauliques

Le choix des éléments hydrauliques se fait dans une large mesure d'après les mêmes critères que celui des éléments pneumatiques et beaucoup des principes énoncés ci-dessus s'appliquent également dans leur cas.

### Éléments du système d'alimentation

#### Pompes

La capacité de pompage nécessaire à un système hydraulique est facile à calculer en totalisant la consommation de tous les éléments du système et en effectuant ce total d'un certain coefficient pour les pertes d'énergie.

La puissance requise pour actionner la pompe dépend essentiellement de deux facteurs : le débit du fluide et le niveau de la pression. L'accélération du mouvement de la pompe augmente le débit et par conséquent affecte indirectement la puissance requise. Pratiquement, on peut dire que celle-ci est directement

proportionnelle au débit. Une pompe dont le débit est doublé a besoin d'une puissance double pour maintenir un niveau de pression égal. En outre, la puissance requise est directement proportionnelle au niveau de pression. Si celui-ci est quintuplé, il faudra cinq fois plus de puissance pour maintenir un débit constant. La puissance peut être déterminée par la formule suivante :

$$\text{Puissance} = (\text{débit volumétrique}) \times (\text{pression})$$

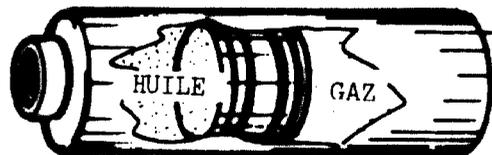
On calcule la capacité de pompage en divisant la puissance de la pompe, telle qu'elle ressort de la formule ci-dessus, par son rendement qui est généralement de 85 %.

#### Amortisseurs (accumulateurs)

Dans les systèmes hydrauliques, les chocs sont amortis par des "accumulateurs", qui sont des dispositifs contenant de l'huile hydraulique à haute pression (voir figure 34). La pompe envoie de l'huile dans l'accumulateur pendant les phases d'activité où elle n'en envoie pas dans les autres éléments. L'huile ainsi accumulée est utilisée ultérieurement soit pour compléter l'huile contenue dans la pompe soit pour maintenir la pression quand la pompe est à l'arrêt. De même, si la course aller d'un cylindre (par exemple) est soudainement arrêtée, une partie de l'huile projetée vers l'avant ira dans l'accumulateur, protégeant ainsi le système contre les chocs soudains, qui pourraient l'endommager gravement.

Figure 34

Accumulateur du type "piston"

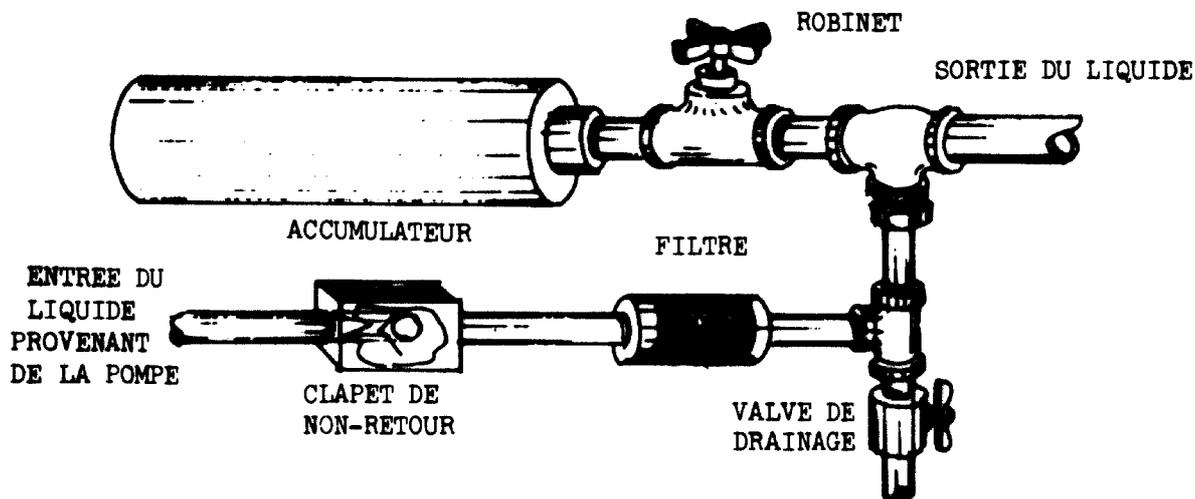


Pour installer les accumulateurs, il convient de prendre les mesures de sécurité ci-après :

- a) Avant de démonter une section de tuyauterie contenant des accumulateurs, ouvrir la valve de drainage pour diminuer la pression (voir figure 35);
- b) Enfermer soigneusement les accumulateurs;
- c) Pour changer le gaz d'un accumulateur à gaz, utiliser seulement un gaz inerte, sinon des explosions dues à l'effet diesel risquent de se produire en cas de fuites internes dans l'accumulateur.

Figure 35

Méthode proposée pour le montage  
d'un accumulateur



### Cylindres

#### Force d'alimentation

La force d'un cylindre hydraulique peut être calculée en utilisant la même formule que pour les cylindres pneumatiques : surface du piston, multipliée par la pression manométrique. Cependant, pour tenir compte des pertes d'énergie mécanique et des pertes de fluide, il suffit d'une différence de 10 % entre la capacité du cylindre et le débit recherché. Il est à remarquer qu'en augmentant le volume d'un cylindre hydraulique, on diminue sa vitesse pour un même volume de fluide pompé.

#### Vitesse d'alimentation

On calcule la vitesse des cylindres hydrauliques en déterminant le débit d'huile entrant dans le cylindre (en général, le débit d'une pompe volumétrique) et en divisant ce chiffre par la surface du piston.

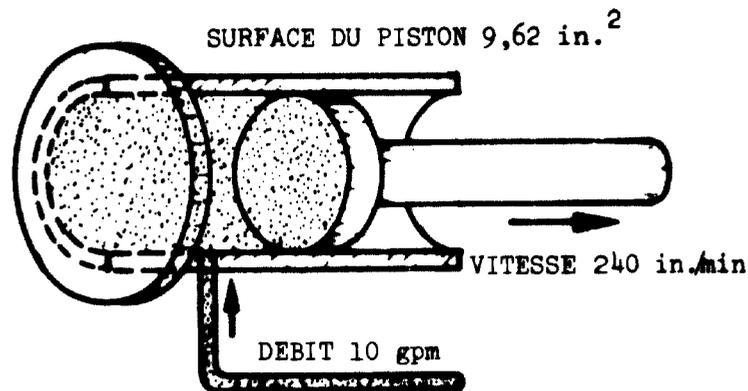
Exemple : Le débit de l'huile entrant dans un cylindre est de 10 gallons par minute (gpm). La surface du piston est de 9,62 pouces carrés (in.<sup>2</sup>). Déterminer la vitesse du piston (voir figure 36).

$$\begin{aligned} 10 \text{ gpm} \times 231 \text{ in.}^3/\text{gal} &= 2310 \text{ in.}^3/\text{min} \\ \text{Vitesse du piston} &= \frac{2310 \text{ in.}^3/\text{min}}{9,62 \text{ in.}^2} \\ &= 240 \text{ in.} \cdot \text{min} \end{aligned}$$

Pour calculer la vitesse de retour du piston, on soustraira la surface occupée par la tige de la surface totale de la face du piston.

Figure 36

Vitesse d'un cylindre hydraulique



Soupapes et tuyauterie

Pour remplacer une soupape, il suffit d'installer une soupape de remplacement semblable à l'ancienne (en supposant que celle-ci avait les spécifications appropriées). Cependant, dans les installations neuves, le problème est un peu plus compliqué. Des considérations techniques et économiques jouent un rôle dans le choix de la soupape. La meilleure façon de résoudre le problème consiste à déterminer tout d'abord les débits linéaires dans le système (voir le tableau figurant dans le paragraphe suivant), puis la taille exacte des conduites (calculée grâce à la formule ci-dessous), et enfin les dimensions de la soupape (choisies en fonction de la taille des conduites).

Les débits suivants sont recommandés dans les conduites :

Conduites d'aspiration de la pompe	0,61 - 1,22 m/sec (2 - 4 ft/sec)
Conduites à pression maximum de 34 bars	3,05 - 4,57 m/sec (10 - 15 ft/sec)
Conduites à pression de 34 à 207 bars	4,57 - 6,10 m/sec (15 - 20 ft/sec)
Conduites de pression supérieure à 207 bars	7,62 m/sec (25 ft/sec)
Conduites d'huile dans les systèmes mixtes air-huile	1,22 m/sec (4 ft/sec)

La formule servant au calcul des dimensions des conduites est la suivante :

$$d^2 = \frac{1,27 \times (\text{débit volumétrique})}{(\text{débit linéaire})}$$

d exprimant le diamètre intérieur de la conduite.

### C. Éléments électriques

A part les moteurs électriques produisant des mouvements rotatifs ou rectilignes limités, les éléments électriques utilisés dans les systèmes d'ACM servent surtout à commander ou à programmer la séquence d'opérations des éléments pneumatiques et hydrauliques. La commande de ces opérations se fait principalement par des signaux émanant d'interrupteurs. Il existe plusieurs centaines de types d'interrupteurs et on en invente de nouveaux chaque jour. D'ailleurs, tout mécanicien peut fabriquer l'interrupteur qui lui convient.

Les interrupteurs les plus simples se composent d'une paire de contacts qui sont mis en communication ou séparés par un activateur. On peut classer les interrupteurs plus complexes d'après le nombre de paires de contacts indépendants (pôles) qui peuvent être mis en communication ou séparés par un simple mouvement de l'activateur : interrupteurs unipolaires, bipolaires, tripolaires ou multipolaires (4 pôles ou plus). Le nombre de pôles n'est en fait que le nombre d'interrupteurs unipolaires pouvant être commandés en même temps. On appelle commutateurs les interrupteurs qui, au lieu d'avoir des paires de contacts, ont des contacts triples, soit P, A, B, de façon que P est alternativement mis en communication avec A et avec B par des mouvements successifs de l'activateur. En poussant cette idée plus loin, on aboutit à des interrupteurs à positions multiples, c'est-à-dire à des interrupteurs où P peut être successivement mis en communication avec une série de contacts, A, B, C, etc. Les pôles multiples peuvent être combinés avec des positions multiples, ce qui explique le grand nombre de types d'interrupteurs existants.

Les contacts des interrupteurs sont généralement fabriqués en argent, en tungstène ou en d'autres alliages ayant un haut degré de résistance à l'usure et à l'oxydation, mais une faible résistance électrique. Cependant, quelle que soit la matière dont ils sont faits, des jaillissements d'étincelles tendent à se produire à l'endroit des contacts chaque fois qu'un circuit est ouvert ou fermé. Les extrémités des électrodes risquent donc de griller. Pour prévenir ce danger, il est recommandé d'actionner les interrupteurs rapidement surtout lorsque le courant qui parcourt les contacts est relativement fort, ce qui aggrave les problèmes provoqués par les étincelles. Les interrupteurs légers ordinaires s'opèrent par déclic, grâce à un dispositif came-ressort qui permet une action rapide. La plupart des interrupteurs industriels ont également cet effet de déclic.

Certains interrupteurs n'ont pas de manette ni d'autre dispositif de déclenchement et sont activés électriquement ou magnétiquement par d'autres interrupteurs (c'est-à-dire par les relais examinés plus loin). Dans d'autres encore, c'est le corps même de l'interrupteur qui sert de poignée : autrement dit, la position de l'interrupteur détermine l'ouverture ou la fermeture des circuits (exemple : l'interrupteur à mercure).

Parmi les nombreux types d'interrupteurs existant actuellement, nous nous contenterons d'examiner l'interrupteur à bouton-poussoir, le contacteur (ou interrupteur de fin de course) et les relais.

#### Interrupteurs à bouton-poussoir

Les interrupteurs à bouton-poussoir sont souvent utilisés pour déclencher ou pour arrêter manuellement une opération à commande électrique. Soumis à une pression, le "bouton", généralement en matière plastique, met en mouvement un

contact à ressort qui établit la communication entre deux bornes. Les interrupteurs à bouton-poussoir sont des interrupteurs à contact momentané : le courant ne reste branché que si le bouton est maintenu dans la position voulue. En général, ces interrupteurs ne sont utilisés que pour des courants de force limitée, car ils sont construits de façon à avoir une action lente. Leur utilisation pour des circuits à fort courant produirait des jaillissements d'étincelles qui raccourciraient la vie utile de l'interrupteur.

Les contacts des interrupteurs à bouton-poussoir sont soit à rupture simple soit à coupure multiple. En modifiant la disposition de ces contacts, on peut également imprimer à l'interrupteur une action double : quand le bouton est pressé, un circuit s'ouvre tandis qu'un autre se ferme.

La présence d'un bouton encastré empêche l'interrupteur de fonctionner accidentellement. En effet, comme le bouton est encastré, la seule façon d'actionner l'interrupteur est de pousser volontairement le bouton. Parfois également, le bouton-poussoir est utilisé pour immobiliser le système en cas d'urgence. L'interrupteur doit alors être muni d'un bouton proéminent, c'est-à-dire en forme de tête de champignon. Ce dernier type d'interrupteur est conçu de façon à pouvoir être activé d'un simple mouvement de la main, rapide et sans direction particulière. L'important est d'avoir un interrupteur facile à manipuler avec une perte de temps minimum. Il existe également des interrupteurs à bouton-poussoir qui sont utilisés pour allumer une petite lampe lorsque le secteur est branché ou qu'un circuit est ouvert. Le bouton lui-même sert parfois de gaine à l'ampoule.

Les boutons-poussoirs sont faits pour être actionnés au doigt; les dispositifs mécaniques tels que les cames risquent de les endommager ou d'entraîner des défaillances prématurées. Le type d'interrupteur à utiliser avec des commandes mécaniques est le contacteur qui est étudié ci-après.

### Contacteurs

Incorporé dans un circuit électrique ou électronique, le contacteur ouvre ou ferme des circuits en réponse à une force mécanique extérieure. Cette force provient généralement d'un élément mobile (partie de machine, came, porte, ou la pièce usinée elle-même) qui déclenche l'activateur.

#### Composition d'un contacteur

Les éléments essentiels du contacteur sont décrits dans la figure 67 (voir chapitre VI). Quatre éléments principaux sont à distinguer : le châssis, les contacts, l'activateur et les bornes.

Le châssis. C'est dans le châssis que se trouvent les contacts électriques. Selon les besoins ainsi que le nombre et le type de contacts qu'ils abritent, les châssis sont de taille et de conception différentes : étanches à l'huile, étanches à la poussière (dans les fabriques de meubles), antidéflagrants, etc. Généralement non métallique (exemple : bakélite), le châssis est souvent placé dans une enveloppe métallique plus résistante, afin de protéger le contacteur du milieu ambiant (par exemple, dans les menuiseries).

Les contacts. Le nombre de contacts varie selon les cas. En outre, on peut distinguer les contacteurs selon la disposition des contacts :

Contacteurs unipolaires à une seule direction  
Contacteurs unipolaires à deux directions  
Contacteurs bipolaires à deux directions

Le contacteur représenté dans la figure 67 est un contacteur unipolaire à deux directions. Les contacts de la paire c, a sont les contacts de repos, et les contacts de la paire c, b sont les contacts de travail.

On peut également classer les contacts entre contacts temporisés et contacts instantanés. Dans les premiers, le bras qui ouvre ou ferme le circuit se déplace dans la mesure où l'activateur se déplace lui-même et à une vitesse égale ou proportionnelle à la vitesse de l'activateur. Dans les contacts instantanés, le bras ne se déplace que lorsque l'activateur est parvenu à un certain point de sa course. A ce moment, un mécanisme à ressort fait passer le bras de la position "arrêt" à la position "marche". Dans ce cas, la rapidité du mouvement n'est pas déterminée par la vitesse de déplacement de l'activateur mais par le type de mécanisme utilisé.

L'activateur. On trouve de nombreux types d'activateur (voir quelques exemples dans l'annexe I). Il existe des activateurs spéciaux pour les systèmes où la pièce mobile qui déclenche le contacteur agit seulement lors de son mouvement-aller, et non pas lors de son mouvement-retour.

Les bornes. Placées à l'extérieur du contacteur, les bornes sont reliées aux contacts qui se trouvent à l'intérieur et les mettent en communication avec les fils du circuit qui commande le contacteur. Selon le type de bornes utilisé, les fils de ce circuit peuvent leur être reliés par soudure, par vis ou par fiche.

Comme chacun de ces quatre principaux éléments du contacteur peut être de forme, de dimensions ou de nombre différents, les combinaisons possibles sont évidemment très nombreuses.

#### Quelques règles à appliquer pour le bon usage des contacteurs

La qualité des contacteurs fabriqués à l'heure actuelle est telle qu'un contacteur peut fonctionner plusieurs millions de fois sans aucun inconvénient. La plupart du temps lorsque les défaillances se produisent dans un contacteur, c'est ou bien que celui-ci est improprement utilisé, ou bien que l'on n'a pas choisi le type de contacteur qu'il fallait pour un travail donné. On peut éviter les erreurs les plus fréquentes en observant les règles suivantes :

Ne pas relier les bornes de repos et de travail d'un contacteur avec les bornes de polarités contraires de l'outil. Faute de respecter cette règle, on risque des courts-circuits qui endommageront le contacteur, ou même le détruiront s'il s'agit d'un petit contacteur du type étanche à l'huile et à action instantanée qui est utilisé sur les machines-outils. Suivre toujours la règle suivante : si les bornes de repos et de travail d'un contacteur doivent être reliées à plusieurs outils, s'assurer qu'elles sont reliées sur ces outils aux bornes correspondantes.

Ne pas surcharger le contacteur. Cette règle de bon sens est souvent négligée. Par exemple, on évitera d'utiliser un contacteur de 10 ampères pour le circuit d'alimentation d'un moteur de même intensité, car celui-ci peut nécessiter un effort de 60 à 100 ampères pour le démarrage. A la différence de la plupart des relais, les contacteurs ne sont prévus que pour des fonctions de commande, et ne peuvent donc être utilisés pour actionner des moteurs.

Quand l'excitation est lente, se servir d'un contacteur à action instantanée. Dans un contacteur à action temporisée, l'activateur est directement relié aux contacts. Il peut donc arriver que l'activateur se déplace trop lentement, de sorte que les contacts de repos se séparent, arrêtant ainsi le dispositif qui actionne l'activateur avant que celui-ci ait rempli la deuxième partie de sa fonction qui est de mettre en communication les contacts de travail.

Il y a des cas où le contacteur à action temporisée est préférable. Par exemple, un contacteur de sécurité ne sera peut-être déclenché qu'une ou deux fois en plusieurs années, mais s'il est déclenché, il est impératif qu'il fonctionne. Si le mécanisme de contact s'est corrodé ou si sa longue inactivité l'a immobilisé pour une raison ou pour une autre, le contacteur, s'il s'agit d'un contacteur à action instantanée, risque de ne pas fonctionner du tout rendant ainsi vaines toutes les mesures de sécurité prévues. Au contraire, s'il s'agit d'un contacteur à action temporisée, l'activateur forcera les contacts à se séparer ou arrachera le contacteur tout entier de son support.

Dans tous les autres cas, et surtout lorsque le mouvement de l'activateur est lent, on choisira de préférence un contacteur à action instantanée où le contact est très rapide et indépendant de la vitesse de l'activateur.

Installer le contacteur de telle façon que l'activateur ne puisse être ni immobilisé ni déclenché soudainement. L'une des causes les plus fréquentes de fatigue mécanique est l'effort au premier instant du contact mécanique. L'activateur doit toujours être léger. Certains spécialistes croient que les vieux contacteurs sont plus solides et durent plus longtemps parce qu'ils sont plus gros. Ceci est absolument inexact. Les nouveaux contacteurs, plus petits, ont une vie utile plus longue s'ils sont utilisés comme il convient.

La façon dont la force de commande est appliquée est un autre facteur important et l'on utilisera à cette fin des cames spécialement profilées. Lorsqu'un contacteur est brusquement ramené à la position "arrêt", la force même de ce mouvement risque de produire un effet de ressort et de le renvoyer au-delà de la position "marche" ouvrant ainsi les circuits accidentellement. Les risques de cet effet de ressort sont aggravés si l'activateur n'est pas en contact avec le petit diamètre de la came au moment du retour à la position "arrêt". La came doit donc appuyer légèrement sur l'activateur même dans la position "arrêt". Certains contacteurs sont munis d'amortisseurs en nylon pour minimiser cet effet de ressort.

S'assurer que le contacteur reste assez longtemps sur la position "marche". En général, il faut environ 0,2 seconde à un contacteur pour mettre en action les relais, les soupapes électro-magnétiques et autres dispositifs alimentés par le circuit. Il arrive que, lorsqu'une machine a été équipée de contacteurs et qu'elle fonctionne de façon satisfaisante, on veuille augmenter la production en accélérant le cycle d'opérations. Le fonctionnement de la machine risque alors de se détériorer si les contacteurs sont actionnés trop vite pour que les dispositifs qu'ils commandent aient le temps d'entrer en fonctionnement. Se rappeler aussi que la position "marche" et la position de réenclenchement ne sont pas les mêmes dans les contacteurs. La pièce mobile doit donc avoir une course de retour suffisante une fois que les circuits ont été ouverts pour ramener le contacteur à sa position de réenclenchement.

Ne pas se servir d'un contacteur comme d'une commande d'arrêt mécanique. Les contacteurs ne doivent jamais être utilisés au-delà de leur limite normale de mouvement, et encore moins jusqu'à leur limite mécanique. Aussi ne doivent-ils pas être activés directement par la pièce en cours d'usinage, dont les mouvements sont parfois difficiles à contrôler. Un mécanisme de déclenchement bien conçu et monté avec soin sera donc nécessaire pour activer le contacteur de façon correcte, quels que soient les chocs que la pièce en cours d'usinage infligera à ce mécanisme, et de quelque direction qu'ils proviennent.

Ne pas installer sur le contacteur un activateur trop lourd ou trop long. L'activateur doit être utilisé tel qu'il est livré par son fabricant, et sans extension, sauf si le contacteur est spécialement conçu pour une extension. S'il ne l'est pas, le simple poids de l'extension risque d'endommager le contacteur ou de l'empêcher de se remettre en position de réenclenchement. Si la distance entre le contacteur et la machine qu'il commande est trop grande pour un activateur standard, il conviendra ou bien de rapprocher le contacteur de la machine, ou bien de modifier celle-ci. Le travail nécessaire sera de toute façon rentable, grâce à une plus grande sûreté de fonctionnement et à une vie utile prolongée du contacteur.

Choisir le type d'activateur correspondant au mouvement moteur. Chaque machine doit faire l'objet d'une étude cinématique élémentaire, afin de s'assurer que les mouvements moteurs sont produits dans la bonne direction.

### Relais

Un autre type d'interrupteur qui est très utile pour la commande automatique est le relais qui se compose d'un électro-aimant ou d'un dispositif analogue déterminant la position d'un ou de plusieurs contacts. Les contacts mobiles dans un relais ont généralement deux positions. Ils se mettent dans la position dite "normale" quand la machine qu'ils commandent est sans courant et dans la position "marche" quand elle est alimentée. Les contacts des relais peuvent être disposés d'autant de façons différentes que ceux des interrupteurs ordinaires. La seule différence réelle entre un relais et un interrupteur est la façon dont les contacts sont actionnés.

La figure 68 (voir chapitre VI) décrit un relais de type classique.

### Fonctions

Les relais sont utiles dans le domaine de l'automation, car on peut s'en servir pour amplifier les signaux, pour les multiplier, pour servir de mémoire et pour inverser les signaux.

Amplification. En général, les contacteurs et les interrupteurs à bouton-poussoir ne peuvent servir que pour des courants limités. On pourrait évidemment construire des interrupteurs pour des courants plus forts, mais les contacts en seraient tellement gros qu'il faudrait une force mécanique énorme pour les mouvoir. L'emploi d'un relais permet de commander un courant à forte tension avec un petit interrupteur. Celui-ci n'est utilisé que pour alimenter la bobine du relais, ce qui n'exige qu'un courant relativement faible. La force électro-magnétique ainsi produite dans le noyau de l'électro-aimant met en communication les contacts du relais. Ceux-ci, à leur tour, font parvenir le courant principal dans la charge (par exemple, un moteur). L'effet final est une amplification du courant à faible intensité en un courant d'intensité supérieure pouvant accomplir un travail plus lourd.

Multiplification. La simple addition de nouveaux contacts actionnés par l'électro-aimant du relais permet de commander plusieurs engins ou d'émettre plusieurs signaux à l'aide d'un seul interrupteur de petite taille, du type "contacteur unipolaire à une seule direction". En effet, on a multiplié ainsi le nombre de circuits pouvant être commandés en même temps.

Mémoire. Dans la plupart des relais, il existe des ressorts de rappel qui garantissent le retour des contacts à leur position originale une fois que la bobine est désamorcée. Cependant, dans les relais multiples, on peut utiliser l'un des groupes de contacts pour transporter le courant dans la bobine de relais après même l'interruption du signal communiqué par l'interrupteur à bouton-poussoir. Tous les autres contacts resteront donc dans la position "marche". En effet, le relais "se rappelle" la réception d'un signal longtemps après sa disparition et maintient les circuits ouverts jusqu'à la réception d'un signal différent.

Un autre type de relais à mémoire est le relais dit de blocage, appelé ainsi parce qu'un cliquet à ressort s'abaisse et maintient les contacts dans la position qu'ils prennent quand l'une des deux bobines du relais est momentanément alimentée. Les contacts ne peuvent prendre une autre position que si l'autre bobine du relais est alimentée ultérieurement. Ce type de relais mémorise mécaniquement une impulsion de signal. Il faut tenir compte toutefois du fait que, en cas de panne de courant, ce type de relais restera dans sa position dernière, ce qui le rend peu sûr pour certains réglages.

Pour un examen plus détaillé des possibilités de mémoire des relais, il faut se référer au chapitre VI.

Inversion. Il est parfois souhaitable que le signal émis par un interrupteur signifie que le courant traversant un élément doit être coupé plutôt que enclenché. Ceci se réalise simplement en faisant en sorte que les contacts du relais soient rompus au lieu d'être établis quand la bobine est alimentée. Ce type de relais est appelé un relais normalement fermé (NF). Le signal est alors du type inversé.

Sélection. Pour choisir un relais, il faut tenir compte de la charge de contact, du cycle d'opérations et de la tension nominale.

Charge de contact. En général, la raison de l'emploi d'un relais est la régulation de la charge. Quand un ensemble de contacts à relais se ferme, le courant passe à travers celui-ci vers l'élément à alimenter. Tant que ce contact reste fermé, il doit être capable d'assurer le passage du courant maximum. Et, quand il s'ouvre, il doit être capable de couper le courant de pleine charge également.

Les trois fonctions d'un contact, à savoir l'établissement du contact, le passage du courant et la rupture du contact doivent être envisagés séparément afin de déterminer correctement le type de contact qui est nécessaire. Le courant de charge initial pour l'établissement du contact peut être différent de la charge permanente à transporter. Par exemple, si un relais est utilisé pour faire démarrer un moteur, la charge de courant initiale peut être de 5 à 10 fois supérieure à l'intensité nominale du moteur qui est le courant nécessaire pour le fonctionnement normal. Dans ces cas, il est souhaitable d'utiliser des relais ayant une capacité de charge continue non inférieure à 50 % de la valeur maximum du courant de démarrage. Dans la plupart des projets d'ACM, où les relais servent essentiellement d'interrupteurs, il est toutefois habituel de ne pas dimensionner les relais à plus de 67 % au-delà de la capacité de transport de courant en continu.

Cycle d'opérations. La fréquence de fonctionnement des relais varie considérablement selon leurs fonctions. Certains relais, par exemple, doivent opérer plusieurs fois par seconde pendant de longues périodes. D'autres ne

fonctionnent que très rarement. Un minimum d'un million d'opérations (marche-arrêt) est considéré (de façon arbitraire) comme la durée de vie normale d'un relais industriel. Certains relais dépassent considérablement cette vie utile minimum.

Valeur nominale. La valeur nominale de la bobine du relais doit être spécifiée en fonction de la source d'énergie disponible. Si des variations de tension sont à prévoir, il faut en tenir compte pour déterminer la gamme de tension sur laquelle fonctionnera le relais.

Etant donné les accidents qui peuvent arriver aux relais et aux fils qui y conduisent, des précautions sont à prendre contre les risques d'électrocution. A cette fin, il est recommandé d'installer des transformateurs dévolteurs et d'utiliser des relais ayant une valeur nominale de 24 V maximum.

La liste ci-après, qui énumère un certain nombre de facteurs à considérer, peut servir de guide dans le choix du relais pour un outil donné.

Système de contact

Disposition des contacts  
Charge sur chaque contact  
Tension à circuit ouvert  
Courant alternatif ou continu  
Type de charge  
Surtension maximum  
Cycle d'opérations  
Vie utile prévue  
Circuit

Système d'activation

Type de source d'énergie  
Quantité d'énergie disponible  
Tension ou courant nominal  
Courant alternatif ou continu  
Tension ou courant maximum  
Action instantanée  
Action temporisée  
Courant alternatif redressé  
Gabarits  
Chocs accidentels  
Résistance de la bobine  
Câblage

Milieu de travail

Température ambiante normale  
Température maximum  
Température minimum  
Spécifications militaires  
Spécifications standard  
de laboratoire  
Vapeur d'eau  
Humidité  
Poussière  
Chocs mécaniques  
Vibrations  
Accélération linéaire

Conditions matérielles

Espace disponible  
Dimensions  
Forme  
Montage  
  
Branchement  
Degré d'exposition  
Couvercle anti-poussière  
Fermeture hermétique  
Etanchéité

D. Eléments électroniques

Comme beaucoup de fabricants de meubles et de menuiserie trouveront sans doute trop compliquée l'utilisation des engins électroniques, ceux-ci ne sont examinés ici que brièvement.

Les éléments électroniques servent essentiellement de commandes; dans ce sens, ils sont même utilisés plus souvent que les éléments électriques. Le procédé électronique le plus courant est le transistor de commutation qui fonctionne comme un relais. Il y a cependant d'importantes différences :

a) Les relais sont actionnés par la tension alors que les transistors sont actionnés par le courant;

b) Dans les relais, l'ouverture et la fermeture des circuits se font par déplacement des contacts; les transistors n'ont pas de partie mobile;

c) La plupart des relais ont plusieurs contacts alors que les transistors n'ont plus qu'un seul parcours de courant;

d) Les relais peuvent fonctionner soit sur courant alternatif soit sur courant continu; selon le type de bobine, les transistors ne peuvent fonctionner que sur courant continu;

e) Les relais n'ont pas de polarité déterminée au contraire des transistors;

f) Les relais peuvent être conçus de façon à fonctionner sur déclic, expression qui n'aurait pas de sens appliqué aux transistors - mais un transistor-interrupteur est encore plus rapide qu'un contact à déclic.

## VI. POUR COMPRENDRE LE LANGAGE DE L'AUTOMATION A COUT MODERE

Aux yeux du non-initié, les symboles qu'utilisent dans leurs plans les spécialistes de l'ACM - flèches, parallélogrammes, lignes et demi-cercles - ressemblent parfois à des hiéroglyphes. Pourtant comme on le verra dans ce chapitre, ces symboles normalisés, ainsi que les combinaisons auxquelles ils se prêtent, sont beaucoup plus faciles à comprendre que les mots ou les phrases des langues écrites.

### A. Symboles utilisés pour les éléments

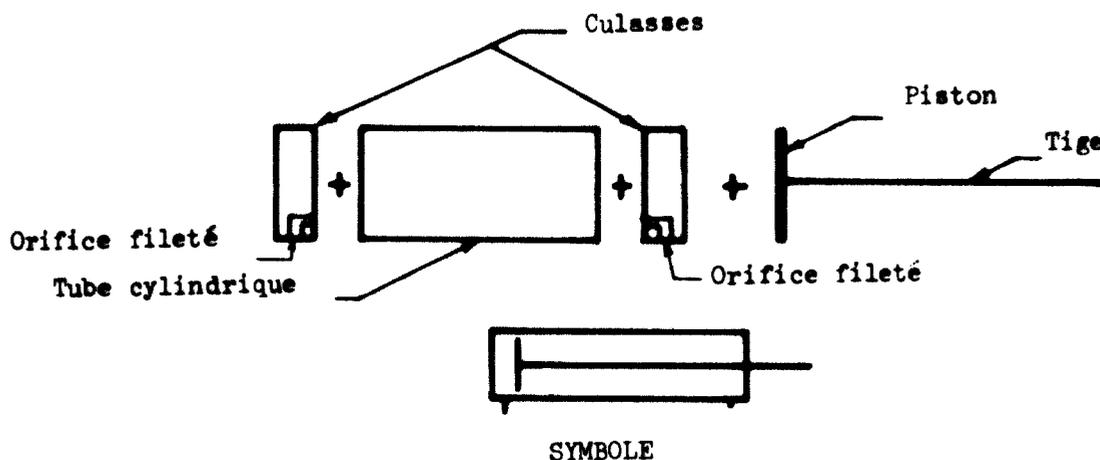
#### Éléments pneumatiques et hydrauliques

##### Cylindres

En général, un cylindre se compose d'un tube cylindrique, d'un piston muni d'une tige et de deux culasses. Ces dernières sont percées chacune d'un orifice fileté pour relier le piston à la conduite pneumatique ou hydraulique. La figure 37 représente ces pièces et contient le symbole normalisé d'un cylindre à double effet sans amortisseur.

Figure 37

Cylindre à double effet : pièces et symbole

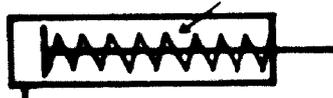


Les cylindres à simple effet (figure 38) sont construits de la même façon, à ceci près qu'ils n'ont qu'un seul orifice fileté : le mouvement de retour du piston est provoqué par un ressort mécanique.

Figure 38

Symbole d'un cylindre à simple effet

Ressort de rappel



On peut également munir les cylindres de dispositifs d'amortissement pour éviter les chocs en fin de course ( figure 39).

Figure 39

Cylindres à double effet avec amortisseur d'un seul côté (a) ou des deux côtés (b)



Quand les dispositifs d'amortissement sont réglables, les symboles sont ceux qu'indique la figure 40.

Figure 40

Cylindre à double effet avec amortisseur réglable d'un seul côté (a) ou des deux côtés (b)



Les figures 41 à 44 indiquent les symboles utilisés pour certains types spéciaux de cylindres. On trouvera d'autres symboles de cylindres dans l'annexe I.

Figure 41

Cylindre à tige traversante, sans amortisseur

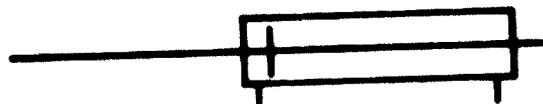


Figure 42

Cylindre double avec amortisseur réglable des deux côtés



Figure 43

Cylindre à trois positions  
(courses égales)



Figure 44

Cylindre à quatre positions  
(courses inégales)

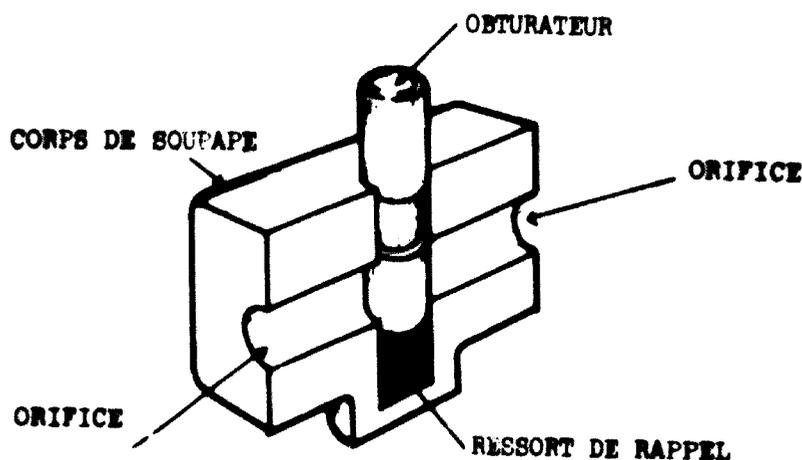


Soupapes

Distributeurs pneumatiques ou hydrauliques de commande. Pour bien comprendre les symboles utilisés pour les soupapes de ce type, le mieux est d'examiner l'engin lui-même. La figure 45 décrit un distributeur de commande de type classique, commandé à la main, à deux positions et avec deux orifices de connexion. Dans la position décrite ici, le fluide ne peut pas traverser la soupape, le passage entre les orifices étant bloqué par l'obturateur. Celui-ci, qui est maintenu dans sa position par un ressort intérieur, ne bougera que s'il est actionné de l'extérieur. L'huile ou l'air peut passer quand l'obturateur est mû par une force supérieure à celle du ressort : c'est alors la section la plus étroite de l'obturateur qui se trouve dans le passage.

Figure 45

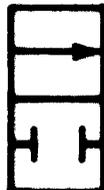
Distributeur opéré à la main,  
à deux positions et deux orifices



Le symbole de base pour le distributeur représenté dans la figure 45 est indiqué dans la figure 46. Les carrés représentent les deux positions possibles de l'obturateur. Le carré supérieur représente la position qui laisse passer le fluide, et le carré inférieur représente la position d'arrêt.

Figure 46

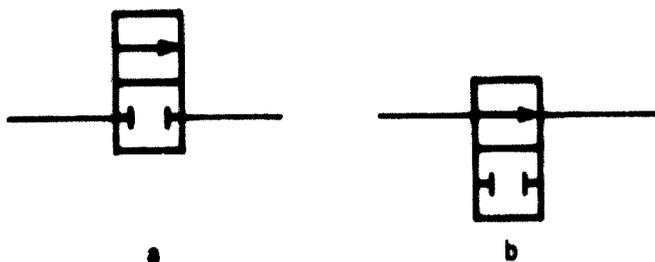
Symbole de base pour le distributeur  
à deux positions et deux orifices  
représenté dans la figure 45



On complète ce symbole en y ajoutant des lignes représentant les conduites reliées aux orifices (figure 47). On comprendra plus aisément ce symbole en imaginant que les deux carrés réunis représentent l'obturateur et se déplacent ensemble de haut en bas ou de bas en haut, les conduites étant fixes, de même que dans la réalité l'obturateur se déplace vers le haut ou vers le bas dans le corps fixe de la soupape. Dans la figure 47 a), l'obturateur est levé, comme dans la figure 45. Aucune force extérieure ne s'exerce sur la soupape qui est dite "non actionnée" (en fait, c'est le ressort qui l'actionne pour l'instant). Le fluide ne passe pas; le distributeur est fermé. Dans la figure 47 b), on a exercé la force nécessaire pour placer le carré supérieur entre les orifices; la soupape est dite "actionnée". Le fluide peut passer; le distributeur est ouvert.

Figure 47

Symbole d'un distributeur  
à deux positions et deux orifices,  
fermé a) et ouvert b)



Pour compléter encore ce symbole, on y ajoute d'autres symboles décrivant les divers types possibles d'activation. Comme on le sait, une soupape peut être actionnée de nombreuses façons. Certains procédés sont décrits dans les figures 48 et 49, et on en trouvera d'autres dans l'annexe I.

Figure 48

Activateurs directs

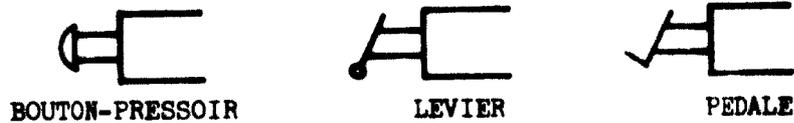
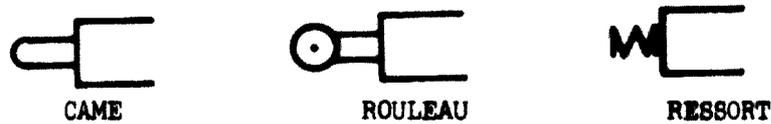


Figure 49

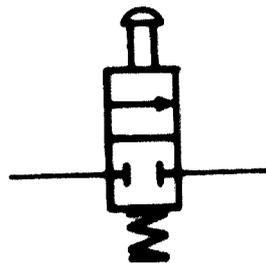
Activateurs mécaniques



Le distributeur décrit ici comporte un activateur interne à ressort (figure 49), mais on peut y ajouter un bouton-poussoir (figure 48) à l'autre extrémité de l'obturateur. Les symboles correspondants sont indiqués dans la figure 50.

Figure 50

Symbole complet d'un distributeur à deux positions et deux orifices, avec activateurs



La figure 51 indique les symboles de base pour les activateurs commandés à distance par des moyens pneumatiques (distributeur-pilote) ou électrique (électro-aimant), et la figure 52 représente le symbole d'un activateur mixte pneumatique électrique.

Figure 51

Activateurs commandés à distance

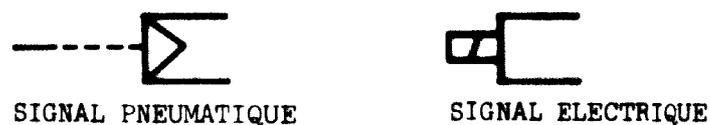


Figure 52

Activateur à commande électrique,  
avec distributeur-pilote



Il existe également des distributeurs de commande à pression différentielle et à système prioritaire. Dans la figure 53, le signal pneumatique b) exerce une pression supérieure à celle du signal pneumatique a), et il actionnera la soupape même si le signal a) est reçu en même temps.

Figure 53

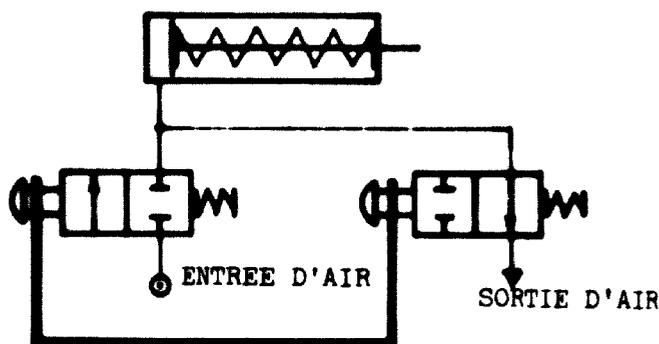
Le signal b) a la priorité  
sur le signal a)



Cependant, le type de distributeur le plus courant dans les systèmes pneumatiques n'est pas celui décrit ci-dessus, mais une combinaison de deux soupapes distributrices de ce type : l'une à position normale de travail, et l'autre à position normale de repos (voir figure 54). Si l'on n'actionne que la soupape à position normale de repos, l'air passe et pousse le piston et sa tige vers l'extérieur (vers la droite, dans la figure). Puis, quand on libère l'activateur, la soupape revient à sa première position, indiquée dans cette figure. La tige reste à l'extérieur du cylindre car l'air contenu dans celui-ci ne peut pas en sortir. En ajoutant à une soupape de ce type une autre soupape, à position normale de travail, on donne à l'air une voie de sortie quand l'activateur est libéré.

Figure 54

Deux distributeurs à deux orifices  
et à connexion mécanique, l'un  
à position normale de travail, et l'autre  
à position normale de repos



La figure 54 contient deux symboles nouveaux. Le cercle dont le centre est indiqué par un point indique la connexion avec la source d'air comprimé, tandis que le triangle inversé relié à la soupape par une ligne désigne l'évacuation de l'air par un orifice fileté. Si l'orifice n'est pas fileté, cette ligne est supprimée, et le triangle est placé directement sur le symbole représentant la soupape.

Il existe une solution moins onéreuse que celle représentée dans la figure 54 : c'est celle de la figure 55 qui représente un distributeur dit à deux positions et à trois orifices, relié au cylindre pneumatique. La position décrite dans cette figure est la position de "repos", c'est-à-dire celle où la soupape n'est pas actionnée. (Normalement, les systèmes sont toujours décrits dans la position de repos.) L'entrée d'air est ici bloquée et le cylindre à simple effet est expurgé de l'air qu'il contenait. Si l'on presse le bouton, l'air entre dans la soupape, puis dans le cylindre. Quant on lâche le bouton, le ressort ramène l'obturateur dans sa position première, fermant de nouveau l'entrée d'air et laissant sortir l'air comprimé qui se trouve dans le cylindre. Le ressort du cylindre repousse le piston dans sa position de départ.

Figure 55

Distributeur à deux positions  
et trois orifices remplaçant  
les deux distributeurs  
représentés dans la figure 54

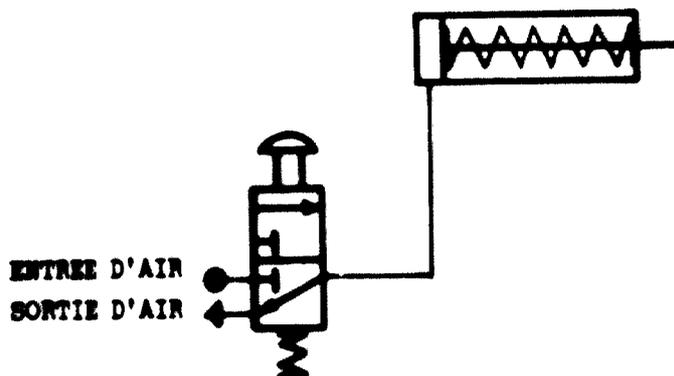
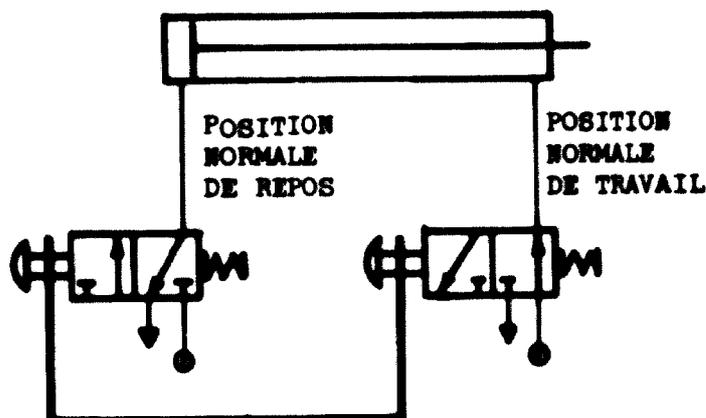


Figure 56

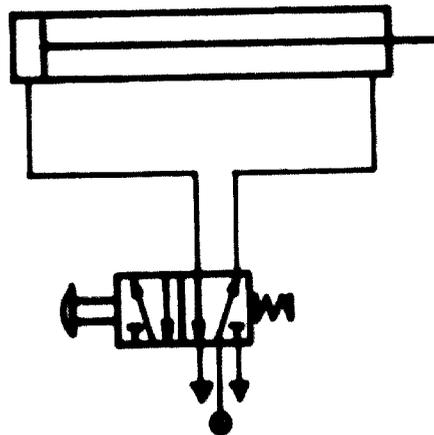
Cylindre à double effet,  
actionné par deux distributeurs  
à trois orifices couplés



Un autre type de distributeur est très fréquent : c'est le distributeur dit à cinq orifices qui combine les fonctions de deux distributeurs à trois orifices et à connexion mécanique. Par exemple, on peut actionner un cylindre à double effet, soit par deux distributeurs à trois orifices couplés (figure 56), soit par un seul distributeur à cinq orifices (figure 57).

Figure 57

Cylindre à double effet,  
actionné par un distributeur  
à cinq orifices



D'après les normes établies par le Comité européen des transmissions oléohydrauliques et pneumatiques et par l'Organisation internationale de normalisation, on peut utiliser indifféremment pour le distributeur à trois orifices, l'un ou l'autre des symboles indiqués dans la figure 58.

Figure 58

Symboles utilisables  
pour le distributeur  
à deux positions  
et à trois orifices



Figure 59

Symboles de base  
pour les distributeurs  
à 2, 3 et 4 positions



Nous n'avons examiné jusqu'à présent que les distributeurs à deux positions. On représente les distributeurs à plus de deux positions en ajoutant au symbole un carré de plus pour chaque position supplémentaire (figure 59).

Dans les normes du Comité européen des transmissions oléohydrauliques et pneumatiques, les symboles des distributeurs de commande sont complétés par des chiffres. On en trouvera des exemples dans la figure 60. Le premier chiffre indique le nombre d'orifices et le second le nombre de positions distinctes.

Figure 60

Symboles et dénominations de divers  
distributeurs de commande



(a) 2/2



(b) 3/2



(c) 5/2



(d) 5/3

Il existe deux types particuliers de distributeurs de commande : le clapet de non-retour et le sélecteur de circuit. Le premier (figure 61) permet le passage du fluide dans une direction mais l'interdit dans l'autre. Le deuxième (figure 62) permet le passage dans une conduite commune du fluide provenant de l'une ou l'autre de deux sources différentes mais non pas des deux sources en même temps.

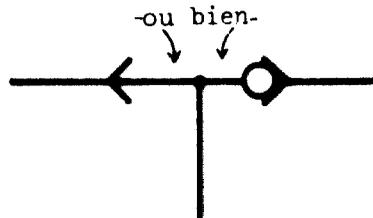
Figure 61

Symbole simplifié du clapet de non-retour.  
Le passage du fluide n'est possible que dans la  
direction indiquée par la flèche.



Figure 62

Symbole simplifié du sélecteur de circuit. Les flèches indiquent les deux trajets possibles du fluide.



Appareils de réglage du débit. Dans les circuits pneumatiques, l'appareil de réglage du débit correspond à la résistance des circuits électriques. Le symbole de l'appareil de réglage fixe est indiqué dans la figure 63, celui de l'appareil ajustable dans la figure 64.

Figure 63

Appareil fixe de réglage du débit



Figure 64

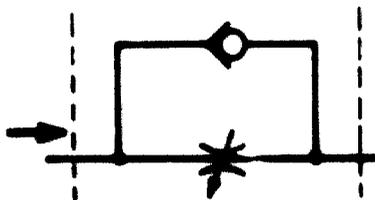
Appareil ajustable de réglage du débit ou restricteur



Combinés, un appareil ajustable de réglage du débit et un clapet de non-retour permettent de régler la vitesse ou la séquence temporelle des opérations (voir figure 65).

Figure 65

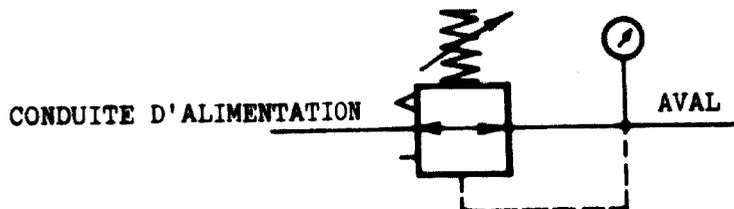
Appareil ajustable de réglage du débit avec passage libre du fluide dans la direction indiquée par la flèche; le passage du fluide dans la direction opposée est bloqué



Appareils de réglage de la pression. Parmi les différents appareils de réglage de la pression, l'un des plus connus est le régulateur de pression. Son symbole est indiqué dans la figure 66.

Figure 66

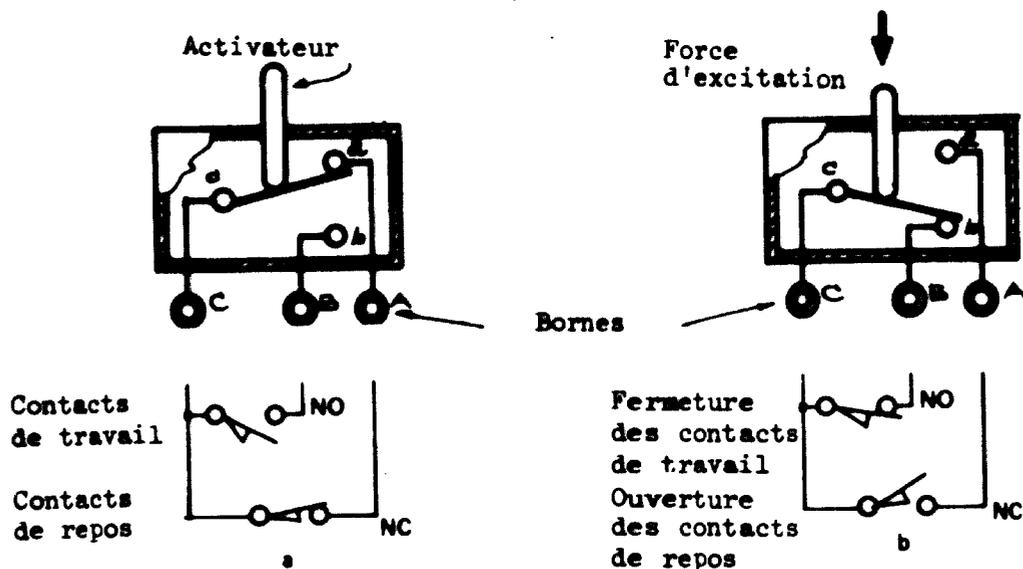
Symbole simplifié du régulateur de pression.  
 Quand la pression en aval dépasse la pression exercée par l'activateur ajustable à ressort, la soupape est activée et supprime l'excès de pression dans la conduite d'alimentation.  
 Quand la pression en aval est trop basse, le ressort active la soupape pour augmenter la pression.



Symboles normalisés. Les symboles indiqués ci-dessus ne sont que quelques exemples des symboles définis par le Comité européen des transmissions oléo-hydrauliques et pneumatiques, l'Organisation internationale de normalisation et le United States Air Standard Institute (USASI). On trouvera en annexe I de nombreux autres exemples de symboles de l'USASI. La connaissance d'un type de symboles permet d'ailleurs de comprendre les autres, car tous ces symboles sont très proches, étant l'aboutissement d'un même raisonnement logique.

Figure 67

Schémas et symboles d'un interrupteur de fin de course (contacteur) de type classique dans a) la position "arrêt" (normale) et b) : la position "marche"



### Éléments électriques

Comme on l'a vu dans la section C du chapitre V, les principaux éléments électriques utilisés dans les systèmes d'ACM sont les interrupteurs : interrupteurs à bouton-poussoir, contacteurs et relais. On en trouvera les symboles dans l'annexe I. Si le symbole de l'interrupteur à bouton-poussoir ne présente pas de difficulté, en revanche les symboles des deux autres types d'interrupteurs demandent quelques explications.

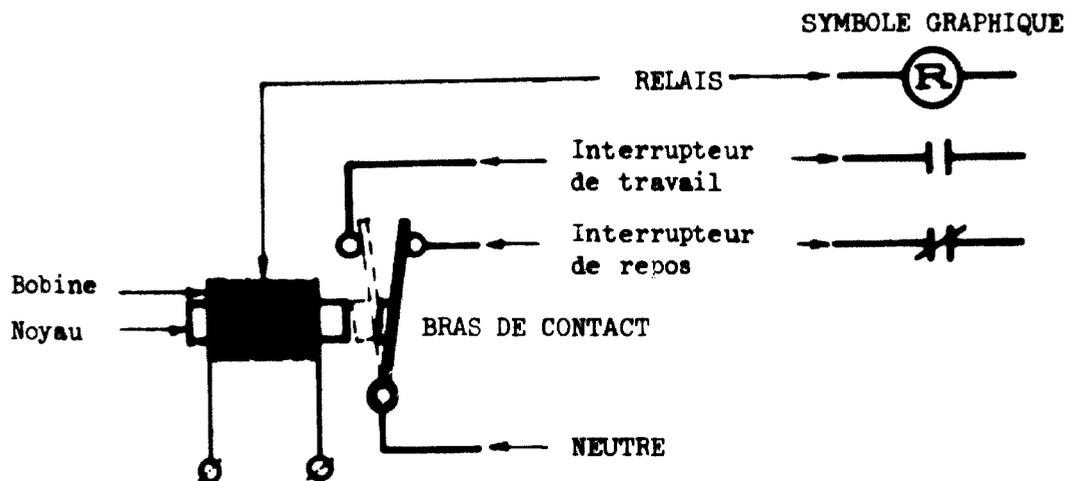
La figure 67 contient les schémas et les symboles normalisés d'un interrupteur de fin de course (contacteur). Le schéma montre trois contacts internes a, b et c reliés aux bornes externes correspondantes A, B et C. Dans la position "arrêt" (normale), les contacts de la paire a, c sont fermés et les contacts de la paire b, c sont ouverts. Par conséquent, la borne A est généralement repérée sur l'interrupteur par les lettres NC (repos), la borne B par les lettres NO (ouvert) et la borne C par la lettre C.

Lorsqu'on appuie sur l'activateur, le bras de contact passe de a à b, comme s'il pivotait sur c. Dans la position "marche", les contacts de travail restent fermés, et les contacts de repos restent ouverts, aussi longtemps que la force d'excitation est exercée. La fin de l'excitation fait revenir le contacteur à sa position normale.

La figure 68 contient le schéma d'un relais classique du type unipolaire à deux directions, avec les symboles normalisés pour le relais et pour le contacteur qu'il actionne.

Figure 68

Schéma et symboles d'un relais classique du type unipolaire à deux directions. Le déplacement du bras dans la position "marche" est indiqué en pointillé.



Quand la bobine du relais est alimentée, le magnétisme provoqué dans le noyau de cette bobine attire le bras de contact, ouvrant l'un des circuits et fermant l'autre, comme dans un contacteur.

## B. Schémas des systèmes de commande

### Principaux systèmes de commande

Le schéma de la figure 69 est la représentation générale d'un système de commande. Dans ce schéma, les détecteurs seraient par exemple des distributeurs pneumatiques ou hydrauliques, des interrupteurs électriques, des cellules photo-électriques, ou encore les mains, les yeux ou les oreilles de l'opérateur. Les sources de puissance seraient des moteurs, des cylindres, les mains ou les pieds de l'opérateur, etc.

Toute machine automatisée fonctionne conformément aux principes de base du système général décrit dans la figure 69. Le système de commande simplifié de la figure 70 n'est qu'un cas particulier de la figure 69, sans détecteur et sans signaux de rétroaction. Encore pourrait-on soutenir que l'ouvrier qui actionne la boîte de commande remplit la fonction des pièces ainsi absentes.

### Composition des systèmes de commande pneumatique ou hydraulique

Dans les systèmes (ou circuits) de commande pneumatique et hydraulique, les distributeurs servent pour la détection, et la commande et les cylindres sont les sources de puissance. Par exemple, dans la figure 71, le cylindre A est commandé par un distributeur 5/2 en réponse aux signaux A+ et A-. Les deux distributeurs 3/2, à droite, détectent les changements de position de la tige du piston et renvoient les signaux de rétroaction  $a_0$  et  $a_1$ . On prendra note des conventions suivantes :

- a) Les cylindres pneumatiques ou hydrauliques sont désignés par des lettres majuscules;
- b) La position d'un cylindre dont la tige de piston est rétractée est dite position 0 (zéro); la position d'un cylindre dont la tige est avancée est dite position 1. Les étapes entre la position pleinement rétractée et la position pleinement avancée sont dites position 2, 3, etc., selon leur nombre;
- c) On attribue au signal adressé au distributeur de commande du cylindre un symbole composé de la lettre désignant le cylindre et du signe + (plus) si ce signal fait avancer la tige, ou du signe - (moins) s'il la fait reculer;
- d) Les distributeurs qui détectent la position du cylindre (position de la tige du piston) et les signaux de rétroaction envoyés par ces distributeurs sont désignés par la même lettre que le cylindre, mais en minuscule, à laquelle on ajoute le chiffre correspondant à la position.

Si l'on complète le système de rétroaction représenté dans la figure 71 en reliant la conduite allant de  $a_0$  à A+ et la conduite allant de  $a_1$  à A- (figure 72), on aboutit à un cylindre à oscillation continue : quand le cylindre arrive dans la position 1, le distributeur  $a_1$  est activé et envoie un signal A- au distributeur de commande, qui "ordonne" au cylindre de revenir à la position 0, après quoi le distributeur  $a_0$  prend le commandement et envoie de nouveau le cylindre à la position 1, ce cycle se répétant aussi longtemps que la pression est maintenue dans les conduites d'alimentation.

Figure 69

Schéma d'un système de commande généralisé

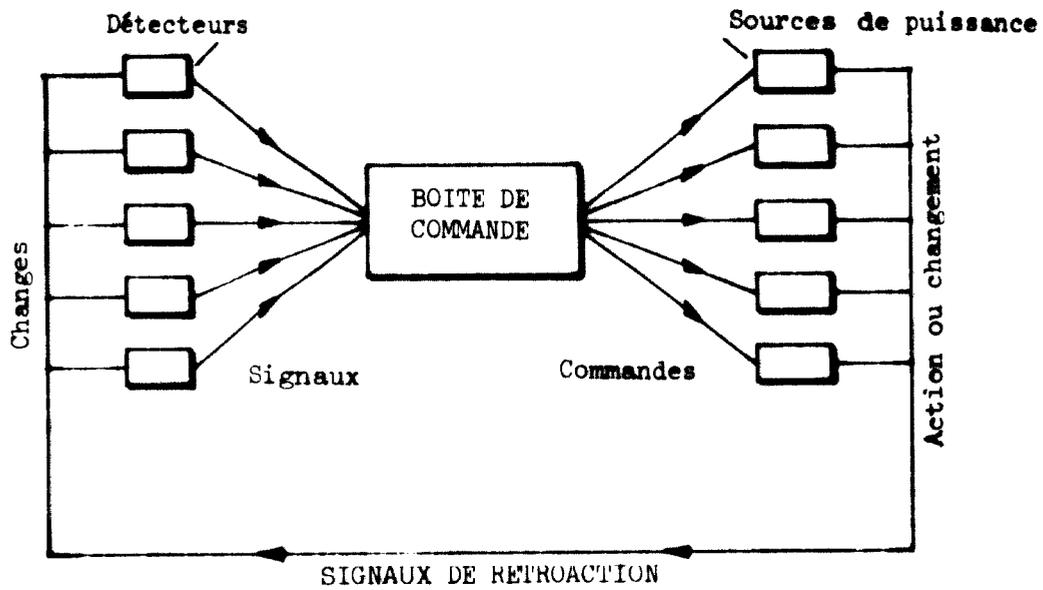


Figure 70

Schéma d'un système de commande simplifié, sans signaux de rétroaction apparents

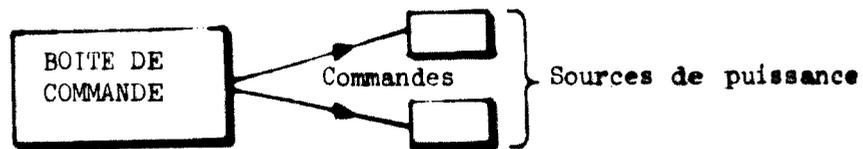
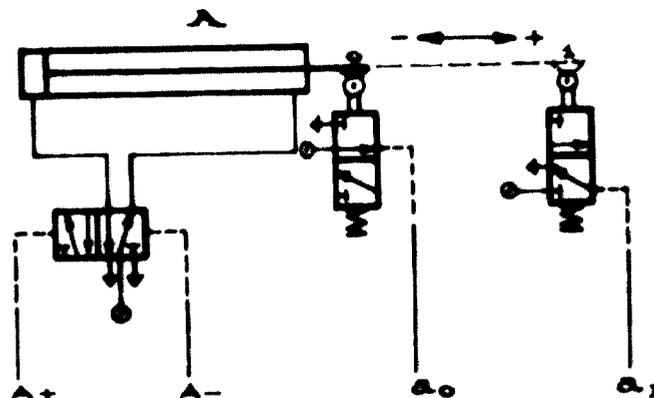


Figure 71

Schéma de circuit pneumatique ou hydraulique incomplet. Voir le texte pour plus de détail.



A la figure 73, deux cylindres sont commandés dans l'ordre A+B+A-B-, en actionnant chaque fois la vanne de démarrage-arrêt située dans la partie gauche inférieure. Ce circuit peut être utilisé par exemple comme suit : le cylindre A met la pièce en place sous une machine à brocher et le cylindre B enclenche la machine.

Il est évident que le diagramme du circuit devient rapidement assez compliqué si on y ajoute plusieurs constituants, si bien que son interprétation peut devenir assez difficile. Tant l'interprétation que la conception peuvent être facilitées par l'emploi d'un diagramme temps-déplacement.

Figure 72

Cylindre à oscillation continue (achèvement du circuit représenté dans la figure 71).  
Voir le texte pour plus de détail.

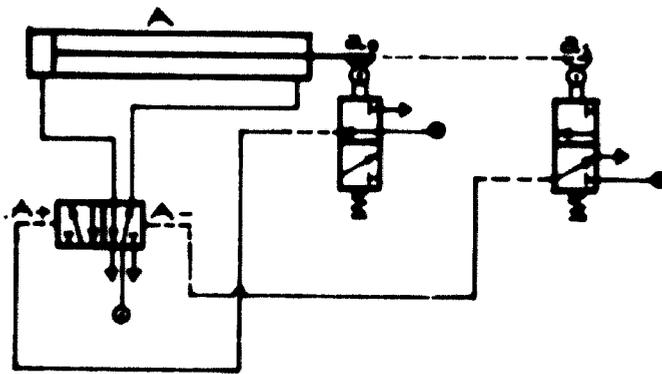
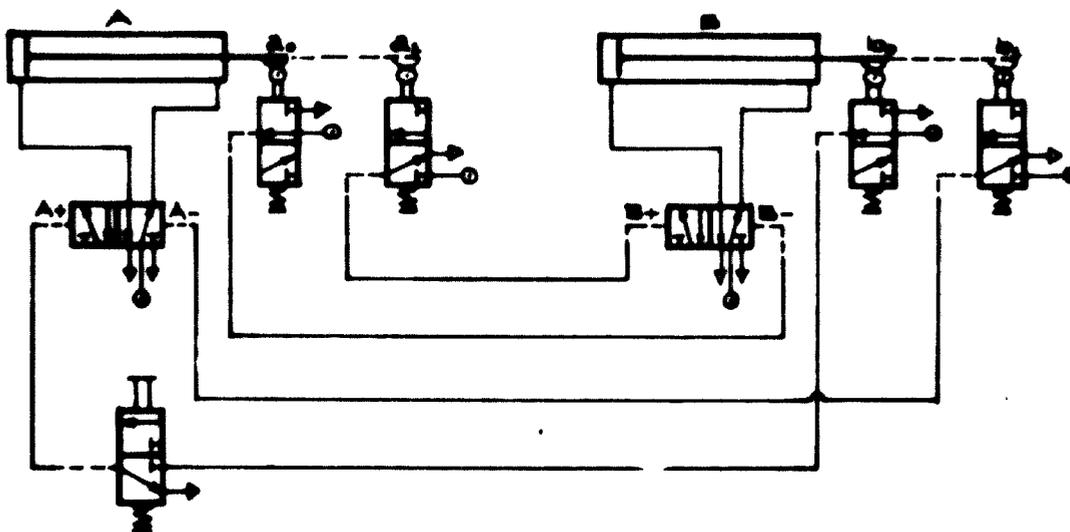


Figure 73

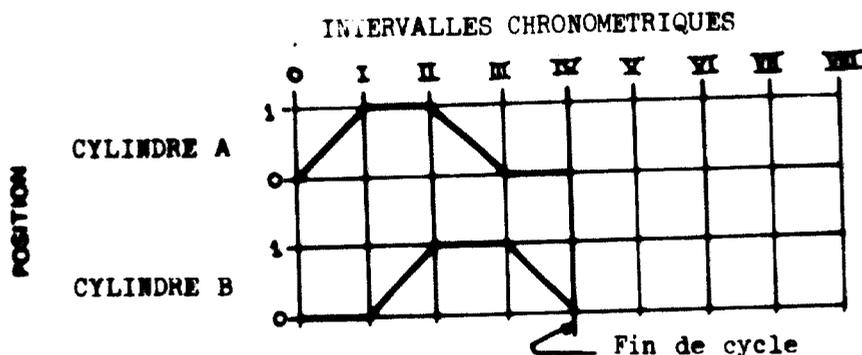
Circuit à deux cylindres. Quand le distributeur représenté en bas à gauche est activé, la séquence des signaux est  $b_0A+a_1B+b_1A-a_0B-$ .



La figure 74 contient le diagramme temps-mouvement pour les cylindres du circuit représenté dans la figure 73. A chaque source de puissance (dans ce cas, des cylindres) correspondent dans le diagramme des lignes horizontales représentant ses différentes positions (dans ce cas, 0 et 1). Les lignes verticales divisent le cycle en un certain nombre d'intervalles chronométriques, représentant chacun un mouvement de la machine pendant le cycle d'opérations. Ces lignes sont numérotées en chiffres romains, de gauche à droite. Dans ce cas, la ligne IV représente la fin du cycle (et aussi son commencement si le cycle se répète automatiquement).

Figure 74

Diagramme temps-mouvement du circuit  
représenté dans la figure 73



Le diagramme temps-mouvement permet de prévoir plus facilement la réaction des cylindres et ce qui est plus important de faire comprendre au spécialiste d'ACM le mouvement que veut obtenir le concepteur.

Composition des circuits  
de commande électrique

La figure 75 contient le schéma d'un système de cylindre pneumatique relié à un distributeur 4/2 actionné par électro-aimant et avec ressort de rappel. La figure 76 contient le schéma du circuit électrique correspondant. Quand on appuie sur l'interrupteur à bouton presseur 1, le courant traverse la bobine de l'électro-aimant A(+), ce qui actionne le distributeur. Il suffit de lâcher le bouton-presseur pour que le cylindre revienne à sa position première.

Une autre possibilité est représentée par le circuit décrit dans la figure 77, où des relais servent à transporter le courant provenant de la bobine de l'électro-aimant.

Si l'on veut que le cylindre continue à fonctionner après que le bouton-presseur ait été libéré, on peut se servir du circuit représenté dans la figure 78. Le relais S a deux groupes de contact,  $S_A$  et  $S_M$ . Quand on appuie sur le bouton-presseur 1, le relais S met en communication les deux groupes de contact. Le groupe  $S_A$  alimente l'électro-aimant A(+), tandis que le groupe  $S_M$  fournit la "mémoire" nécessaire pour que le relais reste actionné même après que le bouton-presseur 1 a été libéré. Pour ramener le cylindre à sa position première, on appuie sur l'interrupteur à bouton-presseur 2, qui est un interrupteur de repos.

Figure 75

Cylindre pneumatique avec distributeur  
commandé par électro-aimant

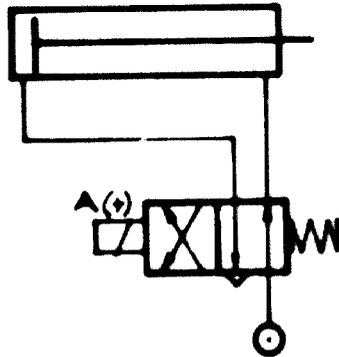
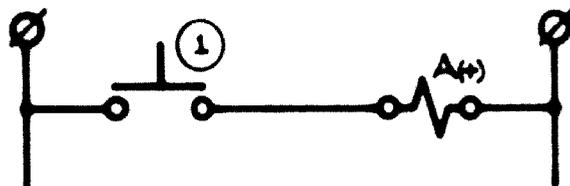


Figure 76

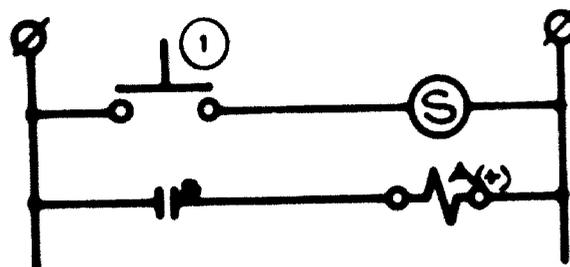
Circuit électrique de commande  
du cylindre pneumatique  
représenté dans la figure 75



On peut faire revenir le piston automatiquement à sa position première, après qu'il a atteint un certain point de sa course, en remplaçant le bouton-pressoir 2 par un contacteur (de repos) installé au même point (figure 79).

Figure 77

Incorporation d'un relais pour commander  
le courant de la bobine de l'électro-aimant



Le circuit représenté dans la figure 80 communique au cylindre un mouvement d'oscillation. On obtient ce mouvement en appuyant sur le bouton-poussoir 1, ce qui déclenche la séquence suivante : le relais W actionne et enclenche; le relais S actionne et enclenche; la bobine A est alimentée; le piston arrive à la position 0;  $a_0$  et  $a_1$  se ferment; S actionne et enclenche à nouveau, répétant la séquence jusqu'à ce qu'on mette fin au mouvement d'oscillation en appuyant sur le bouton-poussoir 2, qui efface la mémoire de W.

Figure 78

Utilisation d'un électro-aimant "mémoire" pour fonctionnement continu du cylindre après libération du bouton-poussoir

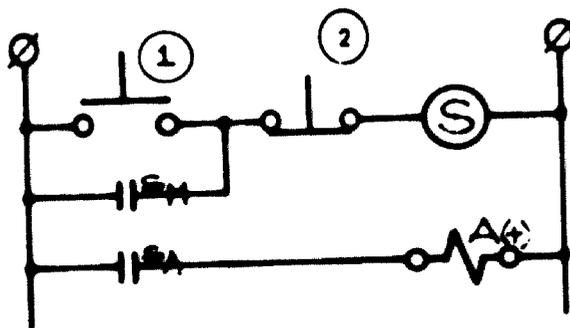
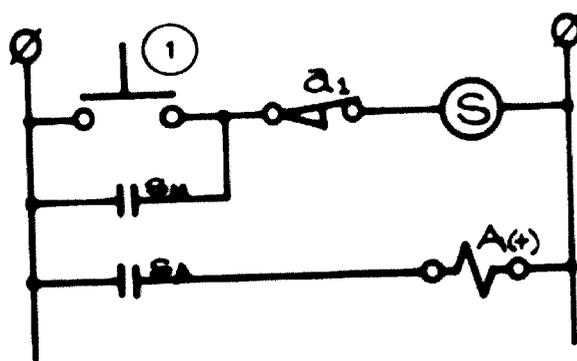


Figure 79

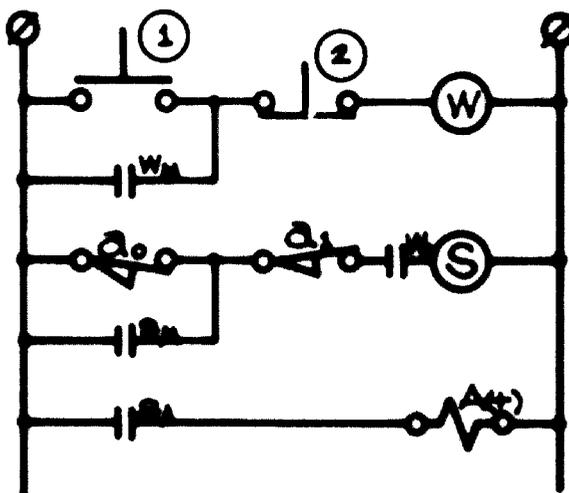
Utilisation d'un contacteur pour effacer la mémoire du relais à un moment prédéterminé



Supposons que le cylindre de la figure 75 serve de presse hydraulique. Pour des raisons de sécurité, il importe que le piston ne se déplace qu'après que l'ouvrier a ôté ses deux mains de la presse. C'est ce qu'on obtient par un circuit (figure 81) qui n'actionne la presse que si l'opérateur appuie en même temps et des deux mains sur deux boutons-poussoirs indépendants. Dans un circuit de ce genre, le ressort de retour du distributeur de commande est en soi un dispositif de sécurité : en cas de panne de courant, ce ressort fera changer la soupape de position, renvoyant ainsi le cylindre à sa position de repos.

Figure 80

Circuit de commande d'un cylindre oscillant



La figure 82 représente une presse commandée par un double distributeur à électro-aimant. Pour actionner le cylindre, il faut là encore appuyer sur deux boutons-poussoirs (1 et 2) en même temps; mais on remarquera que, lorsque ces boutons-poussoirs sont libérés (ou s'il se produit une panne de courant), la soupape (et par conséquent le cylindre) ne reviendra pas automatiquement à la position zéro. Pour ramener le cylindre à sa position première, il faut actionner l'autre groupe de boutons-poussoirs (3 et 4) simultanément. La sécurité de l'ouvrier est donc garantie aussi bien pendant la course-retour que pendant la course-aller.

Figure 81

Circuit de sécurité. Le cylindre ne fonctionne que si l'opérateur appuie sur l'interrupteur 1 d'une main, et sur l'interrupteur 2 de l'autre.

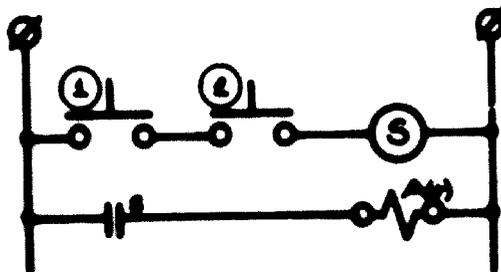
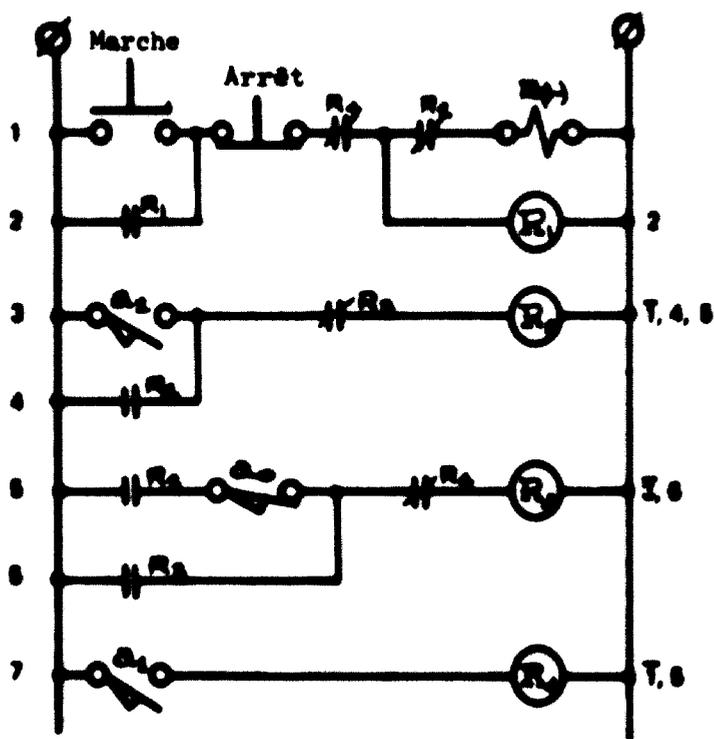
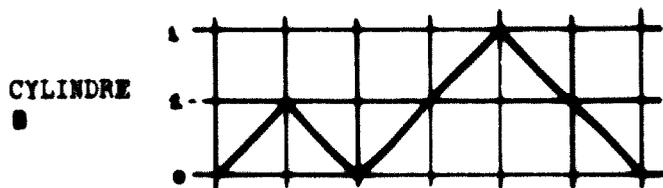
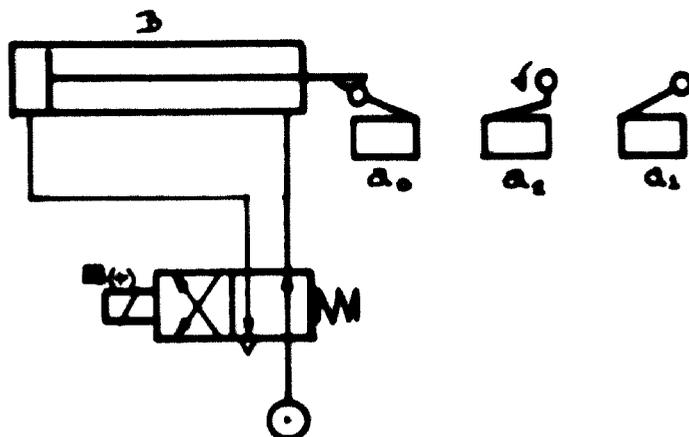




Figure 83

Circuit pneumatique, diagramme temps-mouvement et circuit électrique d'un cylindre à deux courses successives et de longueurs inégales



VII. SYSTEMES D'AUTOMATION A COUT MODERE APPLIQUES  
A LA FABRICATION DE MEUBLES A PANNEAUX

A. Schéma général de fabrication des meubles  
à base de panneaux

En général, le schéma de fabrication des meubles à base de panneaux commence suivant deux lignes principales :

La préparation des éléments en bois massif;

La préparation des éléments en panneaux à base de bois.

La figure 84 représente les opérations requises pour la fabrication de meubles à base de panneaux en utilisant du bois scié, des plaques ou des feuilles de placage et des panneaux à base de bois comme matières premières principales.

Tant le bois scié que les matériaux de placage doivent être suffisamment séchés avant d'être mis en oeuvre dans l'usine de meubles. Tant les éléments en bois massif que ceux constitués de panneaux sont poncés avant leur assemblage final pour obtenir des meubles complets. La dernière opération est évidemment le finissage (application de vernis, de polyuréthane, d'époxy, de polyester, de peinture pigmentée et de tous autres matériaux de revêtement destinés à assurer une protection au cours de l'emploi et à améliorer la beauté du grain de bois dans les meubles achevés).

Toutefois, quand un élément de meuble à base de panneaux doit être transporté à l'état démonté, les constituants ou sous-assemblages le constituant sont finis avant l'emballage et l'expédition et ils sont assemblés sur les lieux par le client ou l'utilisateur.

Un examen du schéma général de fabrication sera effectué dans les sections suivantes afin de déterminer des possibilités d'application éventuelle de l'ACM.

B. Applications possibles de l'automation  
à coût modéré pour la préparation  
d'éléments en bois massif

Découpage à longueur approximative

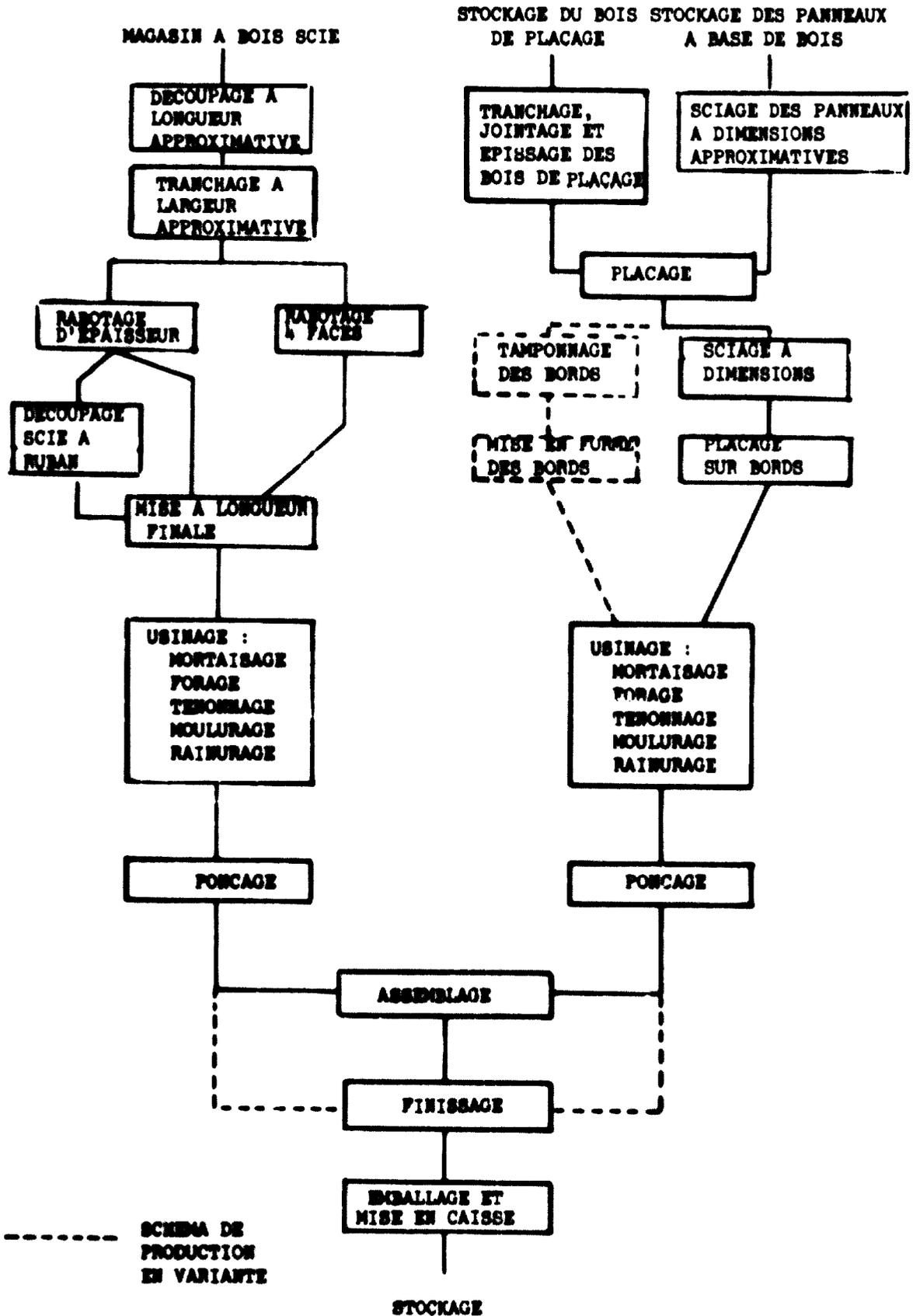
La machine principale pour le découpage à longueur approximative est une scie montée sur une plate-forme à glissière horizontale disposée au-dessus de celle-ci. Le découpage se réalise en tirant la scie à main à travers la planche, puis en la repoussant dans sa position initiale après le découpage. Cette machine est connue généralement sous le nom de scie circulaire horizontale. Les planches sont introduites à la main vers les transporteurs à rouleaux libres avant le sciage et sont souvent enlevées également à la main. Il s'agit donc d'une opération très lente qui nécessite au moins deux manipulateurs de bois et un opérateur pour la scie.

Le recours à l'ACM permet d'augmenter le rendement de cette machine et de réduire le nombre des ouvriers à un seul en installant les éléments suivants :

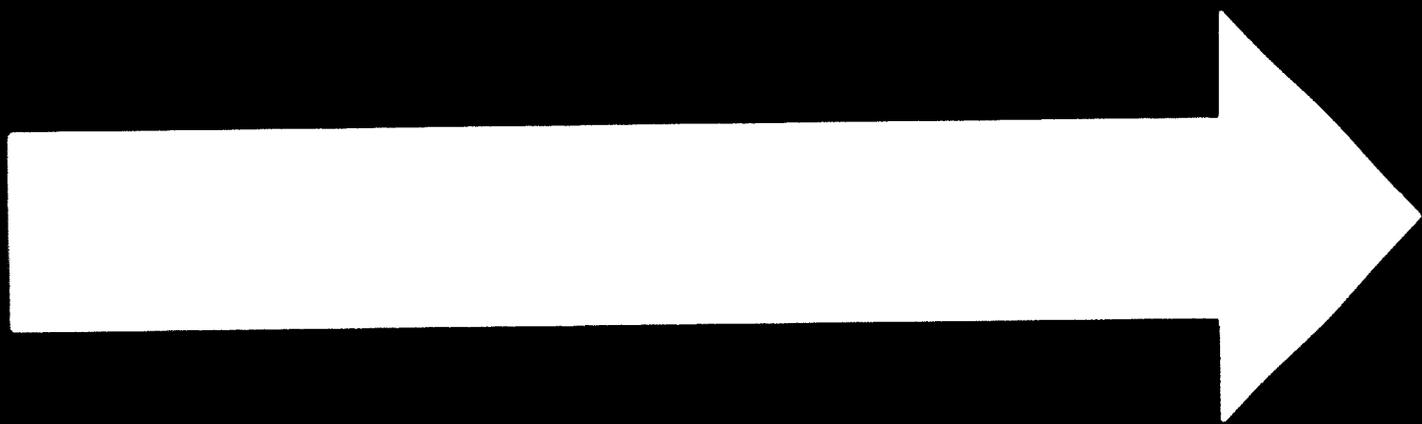
a) Un cylindre pneumatique sur la plate-forme à glissière afin de déplacer la scie vers l'avant et vers l'arrière;

Figure 84

Schéma de production pour la fabrication de meubles à base de panneaux



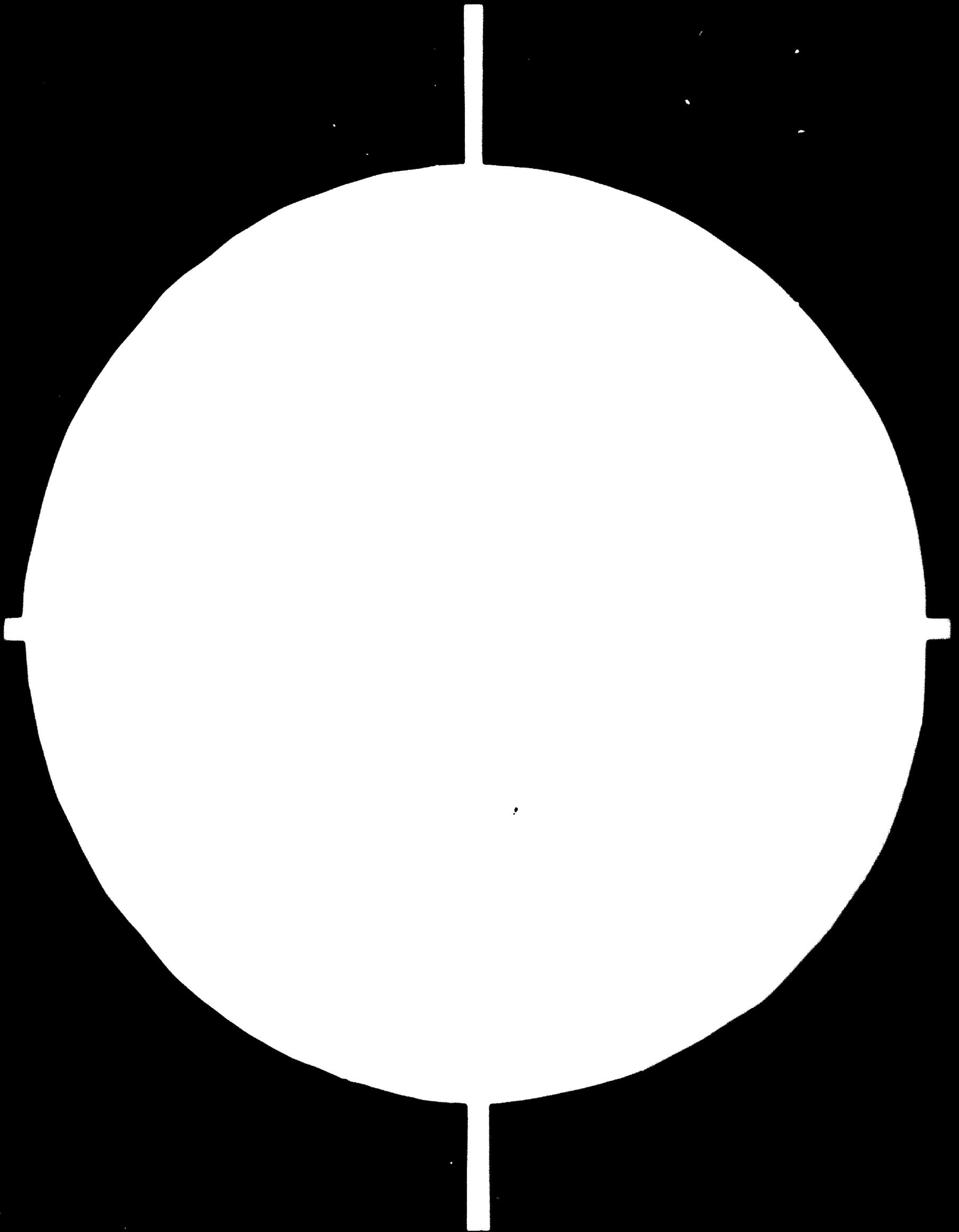
**J-376**



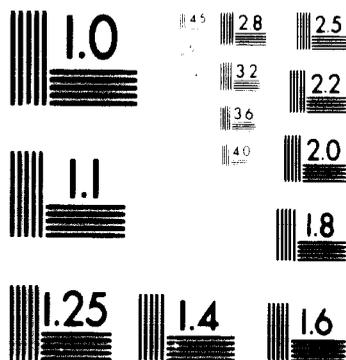
**84.04.03**

**AD. 85.03**

**ILL 5.5**



# 2 OF 3



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

# 24 x F

- b) Un moteur électrique pour entraîner le transporteur d'alimentation;
- c) Un élévateur à ciseaux sur les transporteurs d'alimentation et d'évacuation, de façon à ce que les planches supérieures de la pile de bois puissent être maintenues toujours à un niveau permettant aux planches d'être poussées (par glissement) sur ou hors du transporteur, grâce à des cylindres pneumatiques disposés d'une manière appropriée;
- d) Des dispositifs d'arrêt avec interrupteurs de fin de course (ou des vannes pneumatiques) afin de commander les mouvements des planches vers l'avant et vers le côté.

La figure 85 représente cette solution.

#### Tranchage des côtés

La machine principale pour les opérations de mise à largeur est une scie à rogner à lame simple, pourvue d'un dispositif d'alimentation du type à chaîne. Les planches sont amenées et enlevées de la machine d'une manière manuelle. Les petites pièces requièrent la présence d'un travailleur à chaque extrémité de la scie. Toutefois, les planches les plus grosses et les plus épaisses nécessitent au moins deux hommes à chaque extrémité de la machine. Il en résulte que plusieurs pièces de la même largeur ne peuvent être coupées par la machine qu'en faisant repasser plusieurs fois la même planche à travers la machine.

Dans les usines plus modernes, la capacité de sciage à largeur est augmentée grâce à l'emploi d'une scie à lames multiples. La machine travaille de la même façon qu'une scie rogneuse à lame simple sauf que plusieurs lames de scie sont montées sur le même axe. Cette caractéristique de la machine permet de découper à largeur plusieurs pièces en une passe dans la machine.

Toutefois, la capacité de la scie rogneuse à lame simple peut être augmentée et le nombre d'ouvriers réduit grâce au recours à un dispositif pour accélérer le travail, représenté à la figure 86.

#### Découpage avec scie à ruban

Le découpage avec scie à ruban est indispensable pour obtenir des pièces ayant un profil non linéaire ou des surfaces non d'équerre, à préparer en vue d'opérations d'usinage ultérieures, telles que le profilage des bords, le rainurage et le rabotage. La machine principale est constituée de deux poulies (ou roues pour ruban), montées l'une au-dessus de l'autre, avec la lame de scie à ruban montée sur les segments extérieurs des poulies. La poulie inférieure est entraînée par un moteur électrique. La poulie supérieure est montée sur un axe mobile qui permet à la poulie de s'écarter ou de se rapprocher de la poulie inférieure, de façon à obtenir la tension appropriée sur le ruban de la scie. La pièce à scier est amenée à la main vers la lame de scie sur une table fixée à la colonne de scie à ruban qui supporte les poulies. Les modèles les plus récents de cette machine comprennent une table basculante, tandis que d'autres ont à la fois une table basculante et des rouleaux d'alimentation dentelés et entraînés par un moteur électrique.

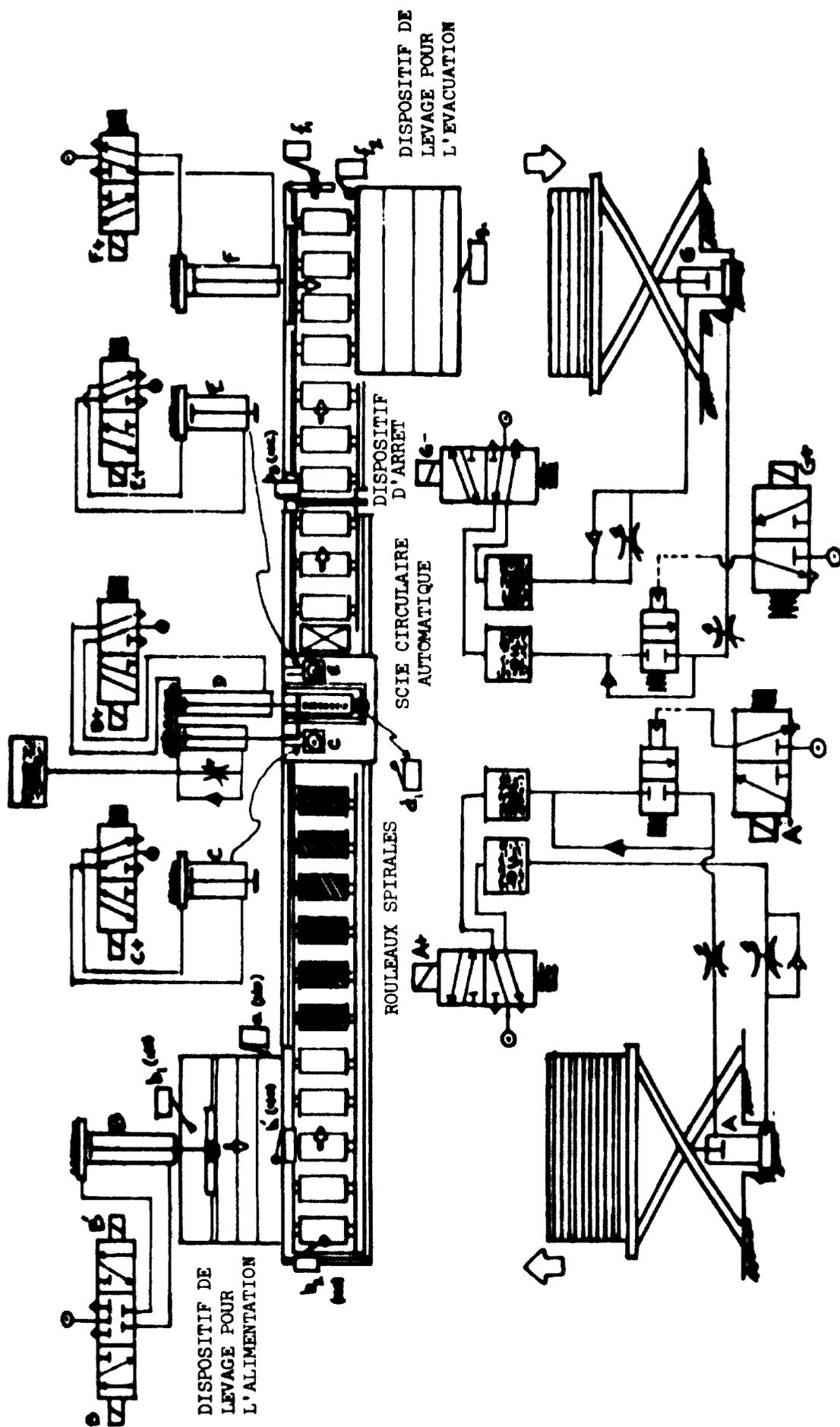


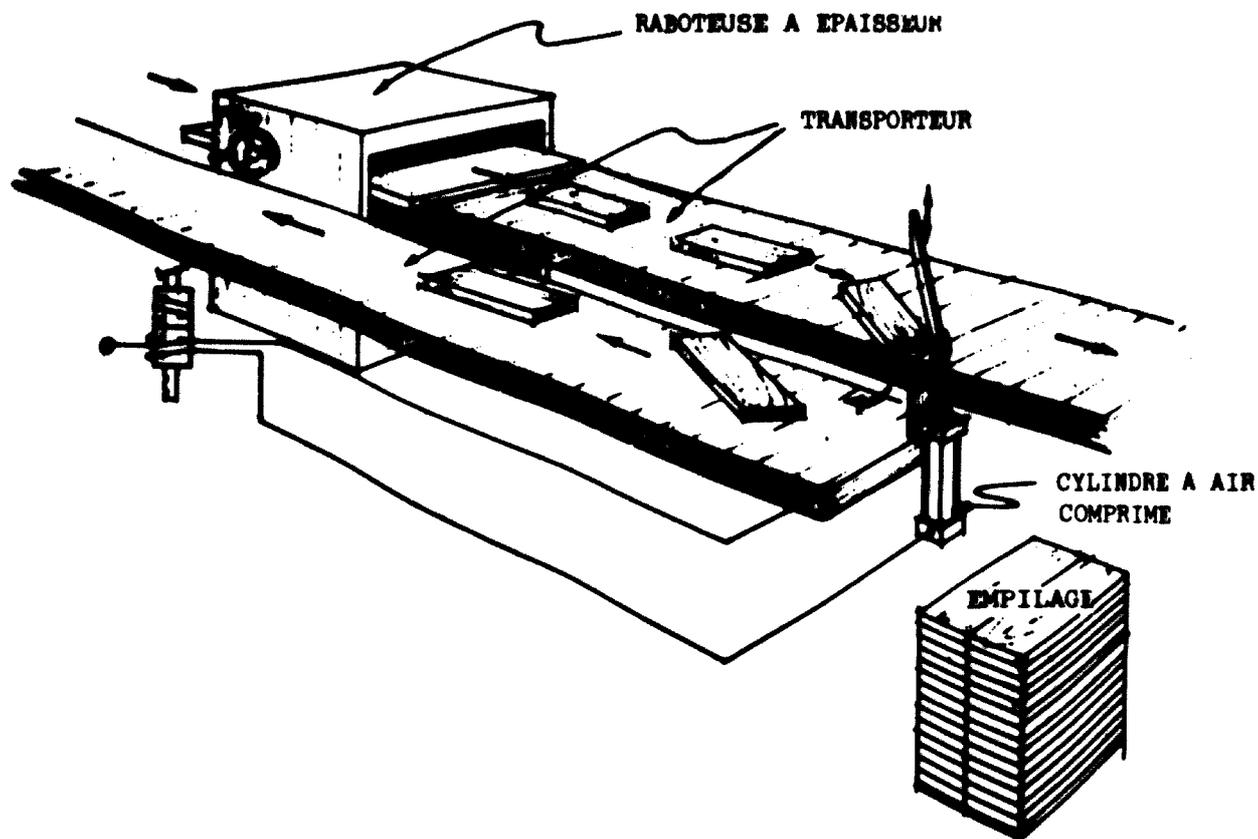
Figure 85

Automation complète de la mise à longueur  
approximative des éléments en bois massif

Un petit nombre de pièces seulement, par type ou profil à découper, peut être traité simultanément sur cette machine et il existe un si grand nombre de profils à découper que les frais de réglage peuvent devenir plus importants que tous les bénéfices résultant de l'automatisation de cette opération. Toutefois, la qualité et le débit peuvent être améliorés grâce à l'emploi de gabarits. Ces gabarits de sciage permettent d'obtenir une forme et des dimensions identiques pour toutes les pièces produites par la machine. En outre, l'emploi de ces gabarits a pour effet d'accélérer le travail.

Figure 86

Dispositif de transporteur de retour applicable  
aux opérations de rabotage à épaisseur  
et de rabotage des bords



### Rabotage de surface

Pour améliorer l'état de surface, les pièces sont généralement rabotées. Le modèle de raboteuse le plus simple comporte un porte-couteau simple, des rouleaux d'alimentation et d'évacuation et une table qui peut être élevée ou abaissée manuellement, de façon à obtenir l'épaisseur requise de la pièce rabotée.

Des éléments plus perfectionnés de cette machine comprennent les éléments supplémentaires suivants dans leur conception :

- Porte-couteaux supérieur et inférieur;
- Élévation et abaissement motorisé de la table de la raboteuse;
- Barrière anti-rejet et autres dispositifs de sécurité;
- Vitesse d'alimentation variable en continu;
- D'autres caractéristiques permettent de réduire le niveau de qualification requis des ouvriers.

Il est bien évident que l'application de l'ACM à cette opération se limite à l'amenée de la pièce dans la raboteuse et à son enlèvement après rabotage. Quand une raboteuse à porte-couteaux simple est disponible et que les deux faces de la pièce doivent être rabotées, un système analogue à celui représenté à la figure 86 permet d'accélérer le travail et de réduire à un seul le nombre d'ouvriers requis.

#### Rabotage quatre faces

Le rabotage quatre faces est semblable au rabotage à plat, sauf que la raboteuse est équipée dans ce cas de deux porte-couteaux verticaux supplémentaires, de façon à permettre le rabotage des quatre faces de la pièce d'une manière simultanée. Du point de vue de l'application possible de l'ACM, le rendement de cette machine peut être amélioré uniquement par l'emploi de dispositifs d'alimentation et d'évacuation.

#### Sciage à longueur exacte

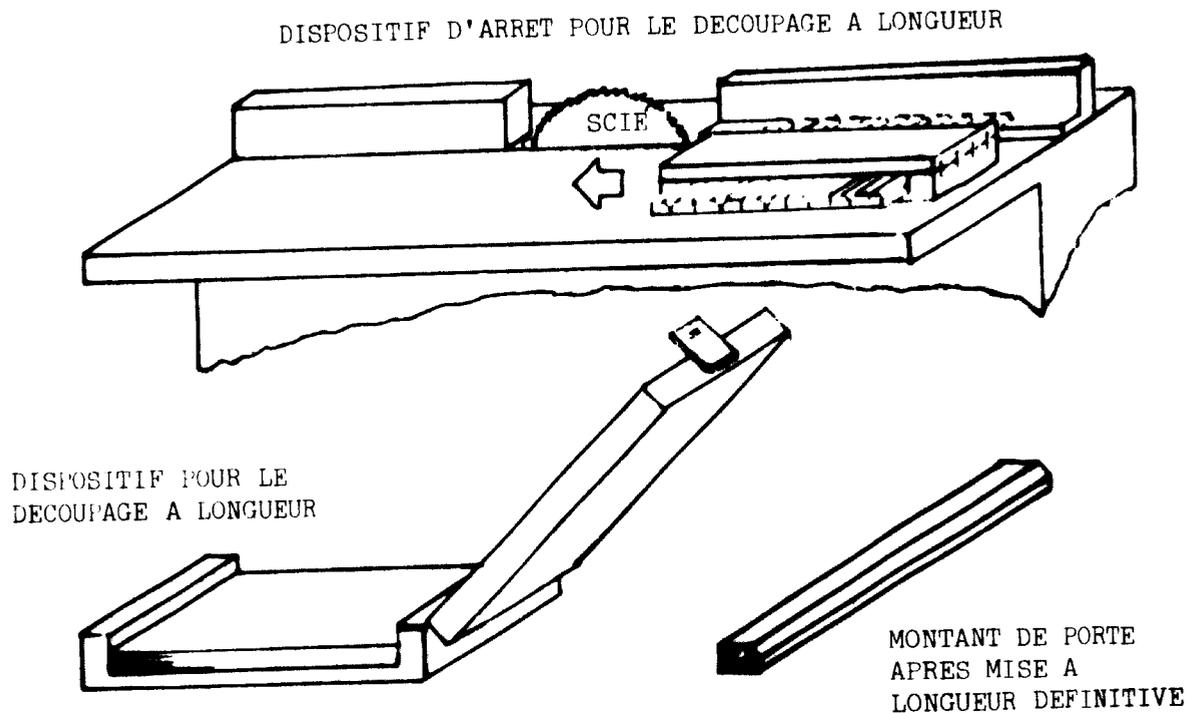
Cette opération est essentiellement la même que la première opération de sciage à longueur. Toutefois, une précision plus grande dans le découpage et une manipulation plus soigneuse de la pièce sont alors nécessaires. Les pièces de grande section transversale sont découpées à longueur définitive au moyen d'une scie circulaire, alors que celles ayant de petites sections transversales peuvent être découpées avec une scie à arbre inclinable (ou scie de table), à l'aide d'un gabarit de découpage, de façon à permettre le découpage dans la scie de plusieurs pièces en une seule passe.

Le mouvement d'avancement et de recul de la scie circulaire peut être automatisé, comme on l'a exposé dans la sous-section "découpage à longueur approximative" de ce chapitre. Le dispositif d'alimentation et d'évacuation doit toutefois être repensé de façon à obtenir une précision meilleure dans le découpage et une manipulation plus soigneuse, de façon à éviter tout dommage aux surfaces rabotées des pièces.

Quand on utilise une scie à arbre inclinable, l'introduction automatique des différentes pièces peut être contre-indiquée, vu la petitesse de ces pièces. Toutefois, une augmentation significative de la production peut être obtenue en utilisant pour cette opération des gabarits de découpage (figure 87). Quand la pièce est suffisamment large, un dispositif d'alimentation à rouleaux de caoutchouc peut être utilisé pour augmenter le rendement de cette opération.

Figure 87

Dispositif pour le découpage à longueur pour pièces  
en bois de faible section transversale



### Mortaisage

Les machines pour faire des mortaises dans des pièces en bois massif pour les joints des meubles sont des mortaiseuses à lamelle, à chaîne, à ciseau creux et du type oscillant. Toutes ces machines sont alimentées à la main et ont donc une production assez faible. Toutefois, l'ACM peut être appliquée à chacune de ces machines de façon à augmenter le niveau de production grâce à un accroissement de la vitesse d'alimentation. Si plus d'une mortaise doit être pratiquée dans la même pièce, un dispositif automatique d'avancement de la pièce peut être installé. Les figures 88 et 89 représentent un système d'automatisation pour une mortaiseuse à chaîne, qui a été proposé par M. Koch et F. Lastuvke (voir bibliographie). Ce système a permis de réaliser une production de 1 000 mortaises par heure. Il comporte les éléments suivants :

- Guide de mortaisage à pied de la machine;
- Tête de mortaisage à chaîne avec dispositif d'alimentation pneumatique;
- Dispositif de transport et d'alimentation intermittente;
- Dispositif de serrage de la pièce;
- Dispositif d'arrêt de l'avancement;
- Console de commande avec dispositif de commande pneumatique pour détecteurs externes et cylindriques.

Des dispositifs analogues peuvent être conçus pour automatiser d'autres types de mortaiseuses, à condition évidemment que le volume de travail justifie cette transformation.

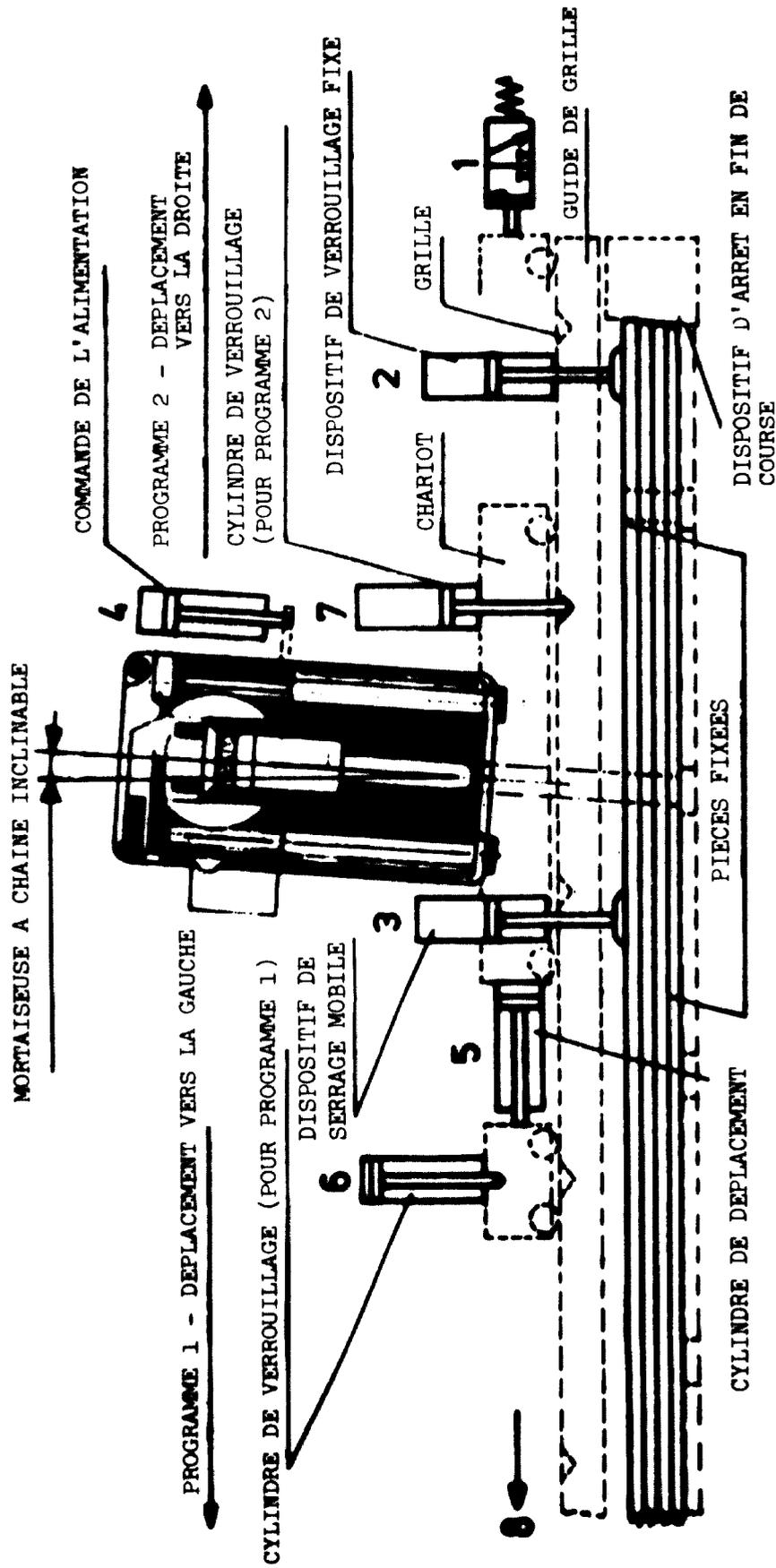


Figure 88

Dispositif d'automatisation à coût modéré appliqué à une mortaiseuse à chaîne - Les éléments numérotés se rapportent au diagramme temps/déplacement de la figure 89

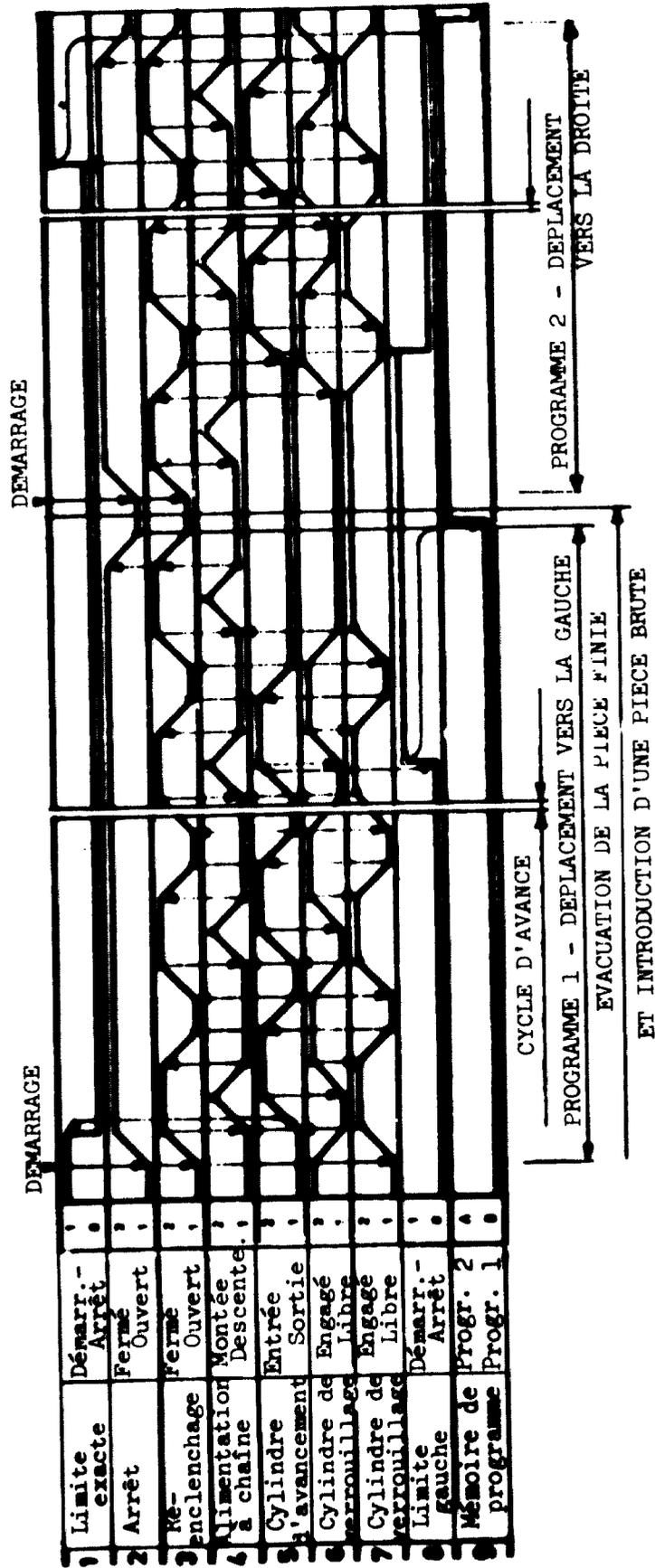


Figure 89

Diagramme temps/déplacement pour une mortaiseuse à chaîne avec un dispositif d'automatisme à coût modéré

### Forage de trous pour chevilles

L'emploi de chevilles pour l'assemblage des éléments de meubles à base de panneaux a fortement simplifié l'assemblage des constituants en panneaux. Chaque fois que des chevilles peuvent remplacer des accessoires métalliques pour l'assemblage des panneaux entre eux, il en résulte une réduction des coûts car les chevilles de bois coûtent beaucoup moins cher que les accessoires métalliques.

Les trous pour chevilles sont généralement forés avec des écartements exacts de façon à obtenir un ajustage parfait des différents constituants en panneaux qui doivent être assemblés. En outre, une pièce de meuble à base de panneaux demande généralement de nombreuses chevilles, alors que la vieille méthode manuelle est inutilisable quand de nombreux trous de chevilles doivent être forés. Les figures 90 et 91 représentent un système automatisé pour le forage de trous pour chevilles, qui a été proposé par les auteurs de ce manuel.

### Forage

Les trous requis pour la fabrication de meubles à base de panneaux sont généralement forés au moyen d'une presse à mèche ou d'une rainureuse, le choix dépendant des conditions de chaque travail. Des trous pilotes pour vis à bois sur les éléments en bois massif des meubles à base de panneaux peuvent être forés avec le dispositif utilisé pour le forage des trous pour chevilles. Dans ce cas, toutefois, la profondeur du trou est déterminée par la modification de la position de l'interrupteur de fin de course, comme le montre la figure 90. Pour le forage des trous dans les petites pièces de bois, telles que les faces de tiroirs, il est à recommander d'utiliser le réglage représenté aux figures 92 et 93.

Quand de nombreux trous ayant des orientations diverses doivent être pratiqués dans une même pièce de bois massif devant constituer un élément de meuble, l'emploi d'un tableau d'indexation est plus efficace parce que la pièce ne peut pas être déverrouillée tant que tous les trous nécessaires n'ont pas été forés. Les figures 94, 95 et 96 représentent un réglage de ce genre.

Il convient de noter que dans tous ces réglages, le foret est généralement fixe tandis que c'est la pièce qui se déplace pour permettre le forage d'un autre trou. La disposition inverse, à savoir le déplacement des têtes de forage sur des pièces immobiles, serait peu commode.

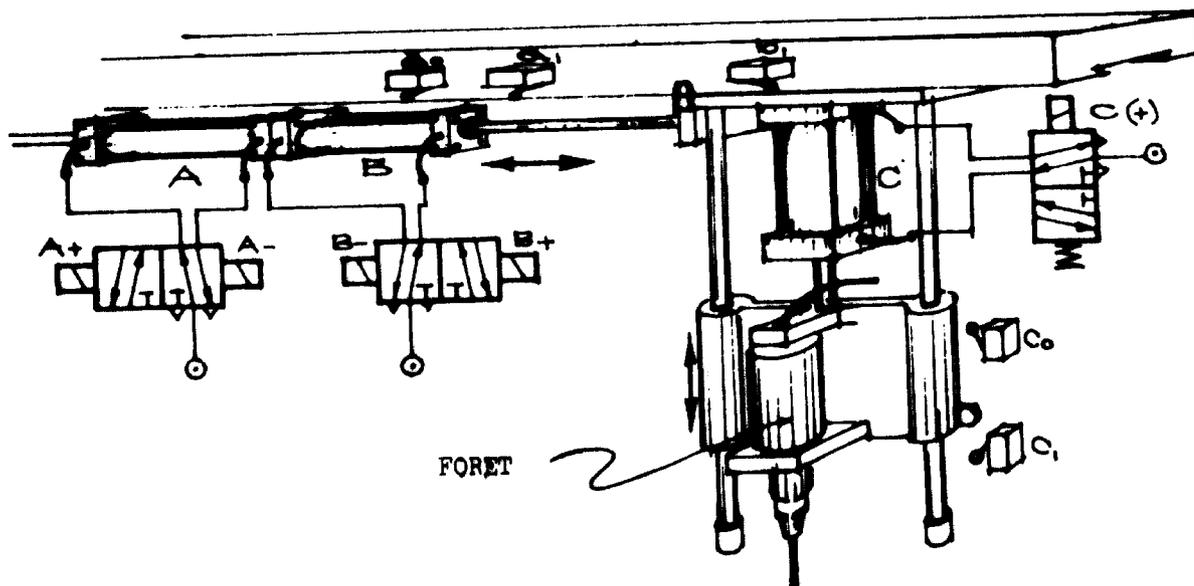
### Tenonnage

Les éléments en bois massif sont tenonnés pour obtenir des joints d'angle, des joints à rainures et languettes et des joints à tenons encastrés.

Le tenonnage se réalise généralement au moyen de moulureuses (profileuses) à broches verticales pourvues de dispositifs spéciaux et d'une tenonneuse à une ou deux broches. Les tenonneuses sont préférables pour les productions importantes parce qu'elles sont équipées de plusieurs têtes de coupe et de plusieurs scies. Une tenonneuse à double broche permet d'obtenir une pièce plus exactement d'équerre, aussi bien dans le cas de pièces en bois massif que d'éléments en panneaux. Une tenonneuse de ce genre est capable également de réaliser d'autres travaux d'usinage précis et compliqués sur cette pièce.

Figure 90

Forage de trous pour chevilles assisté par un dispositif d'automatisation à coût modéré et diagramme temps/déplacement correspondant



PIECE A USINER

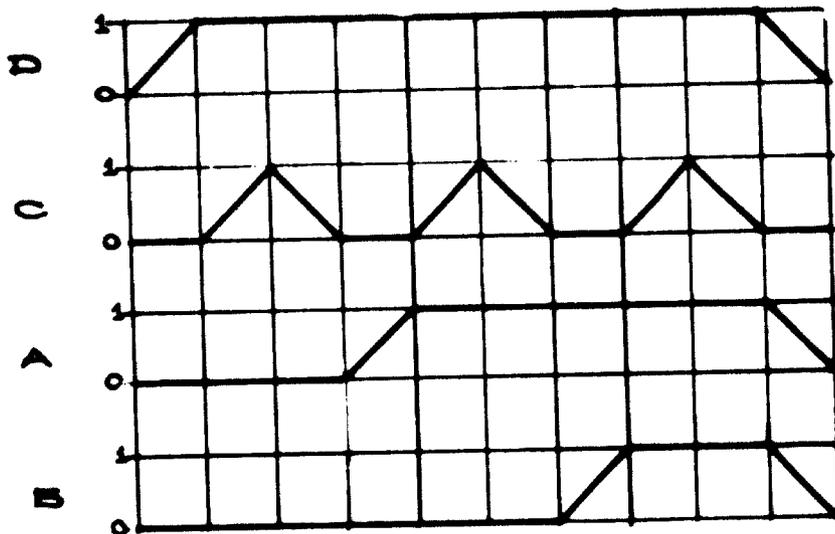
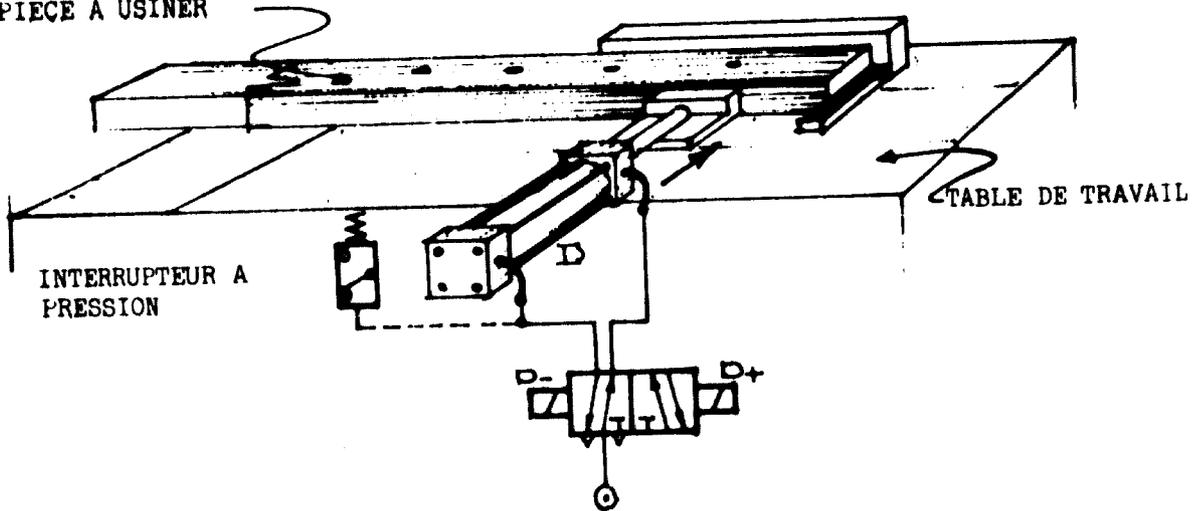


Figure 91

Diagramme du circuit électrique pour le forage des trous de chevilles avec dispositif d'automatisation à coût modéré

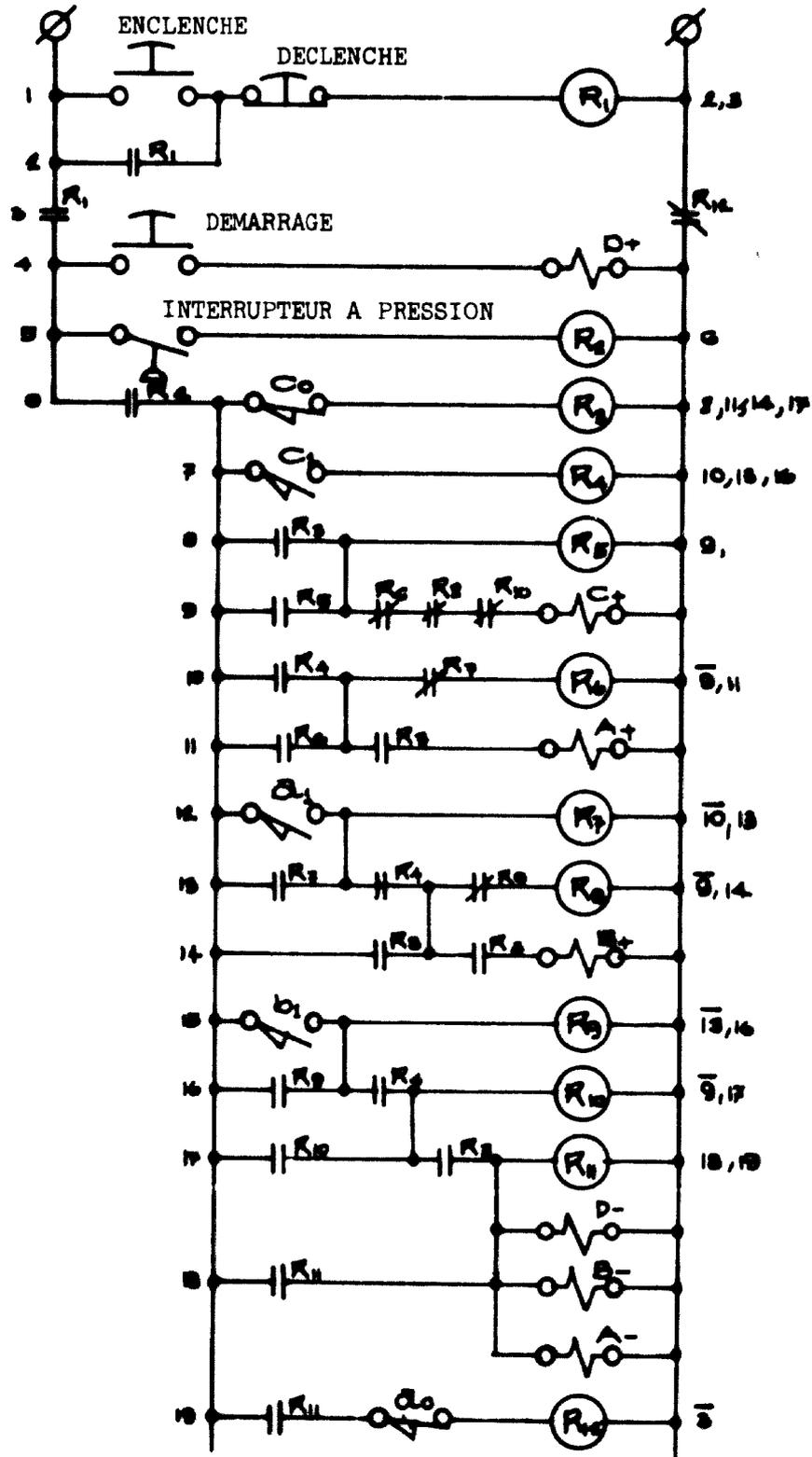


Figure 92

Forage automatique avec dispositif automatique  
d'alimentation et d'évacuation

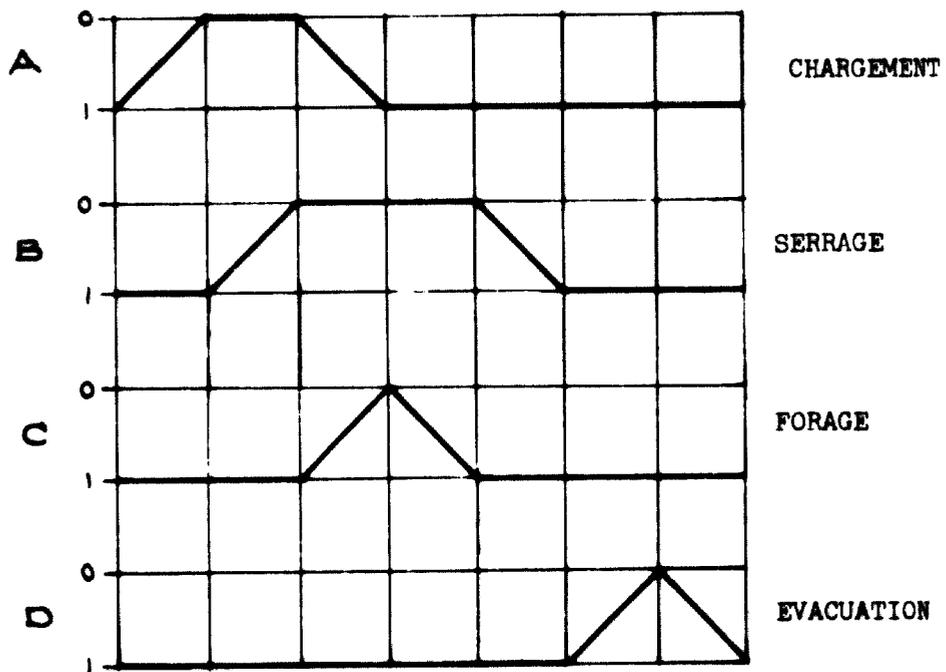
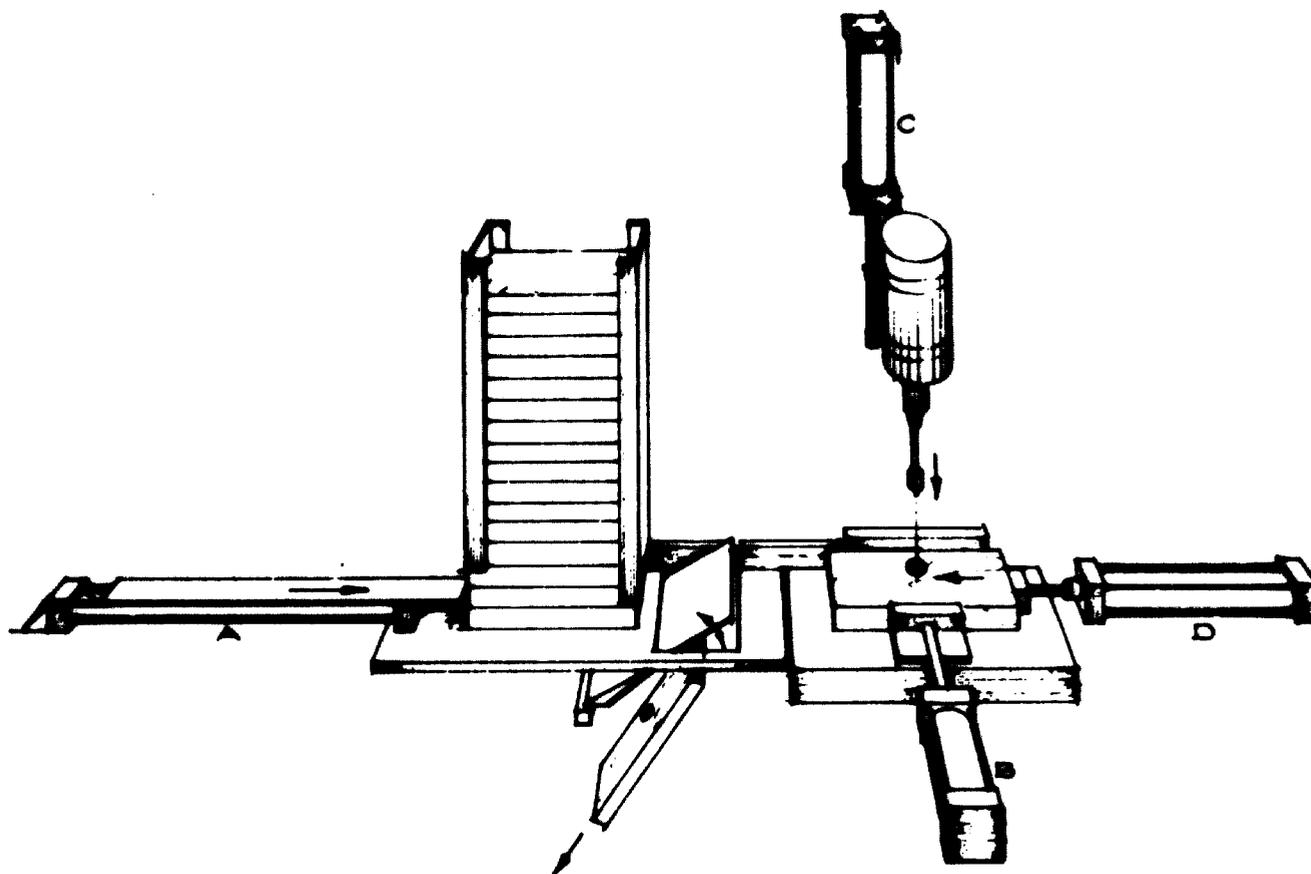


Figure 93

Diagramme des circuits pneumatiques pour le forage automatique avec système d'alimentation et d'évacuation

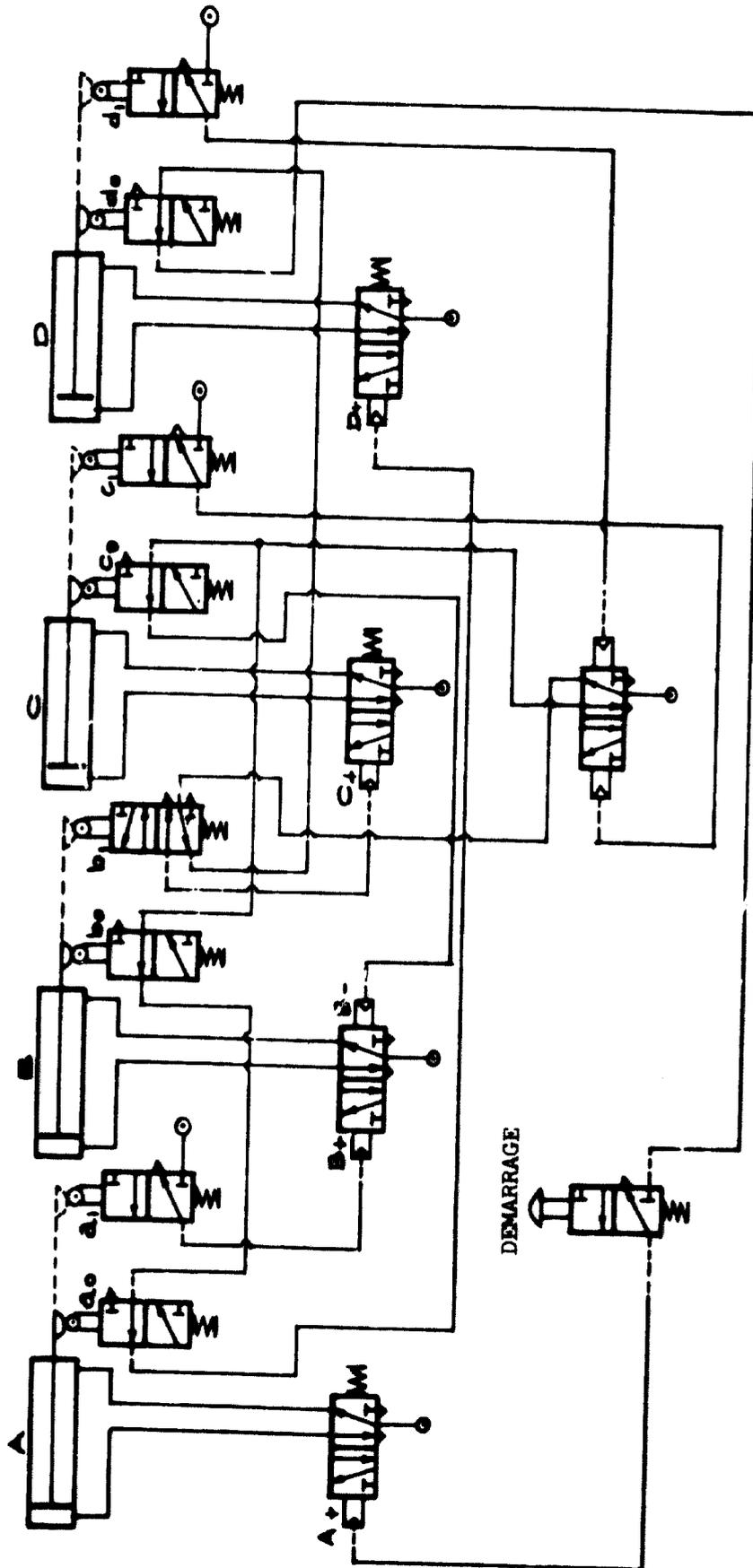


Figure 94

Table d'indexation : Diagramme explicatif

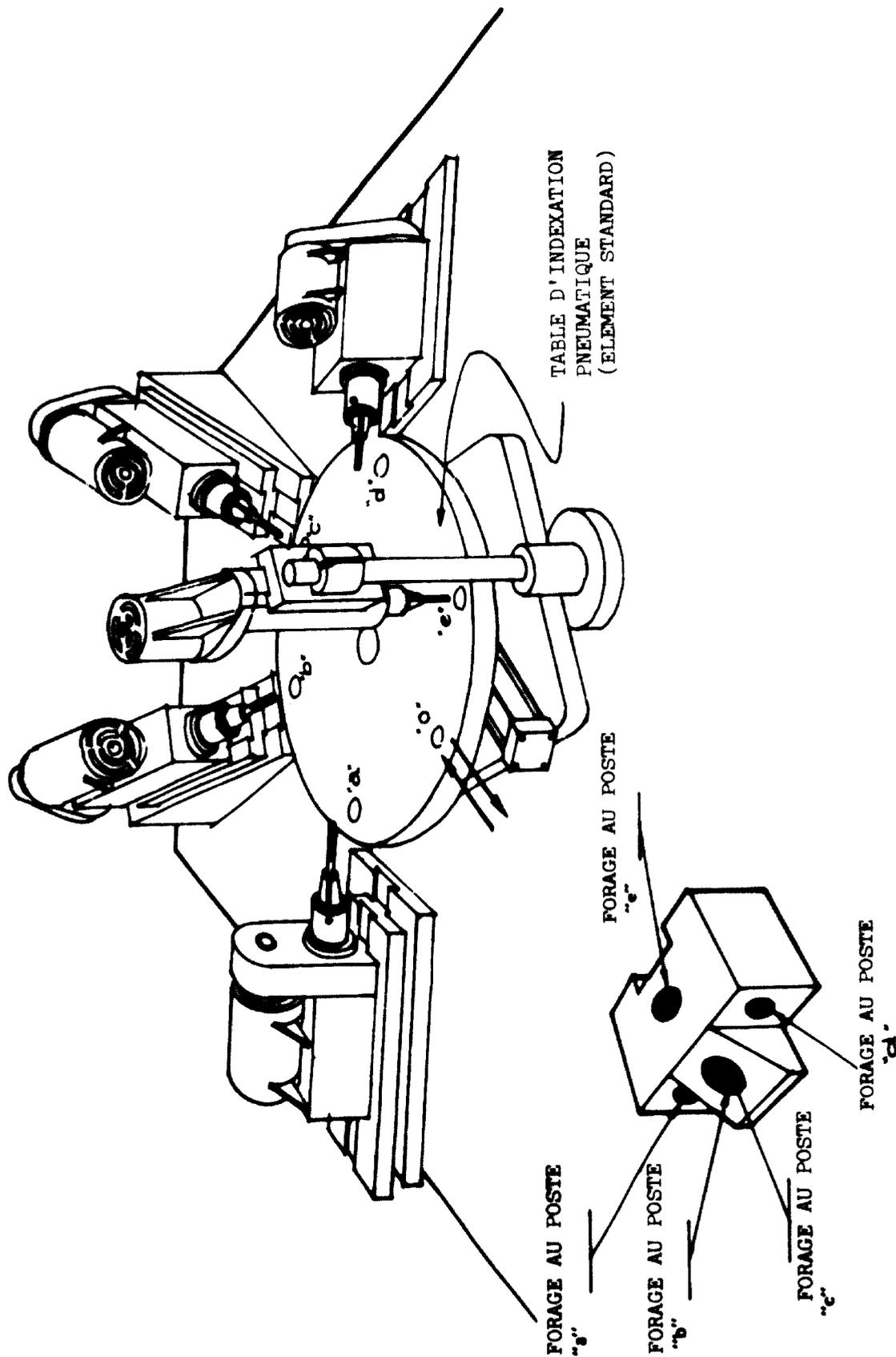
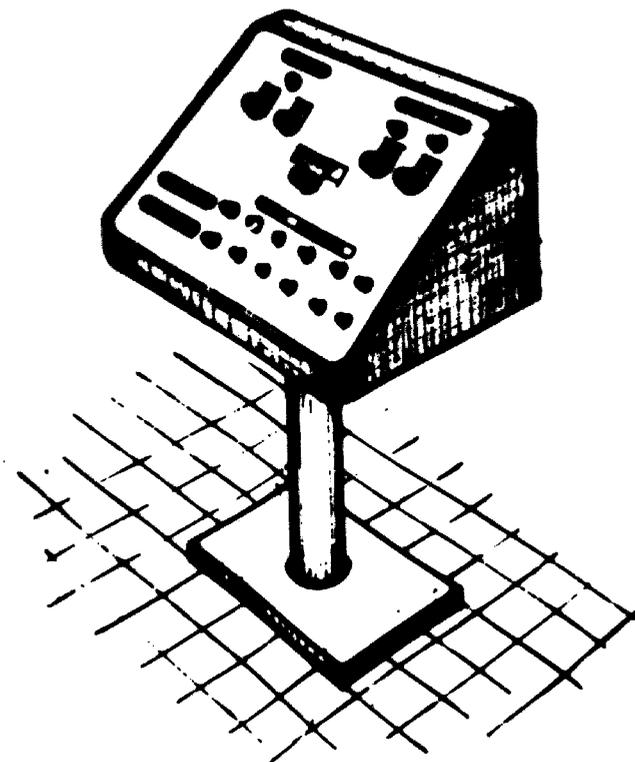
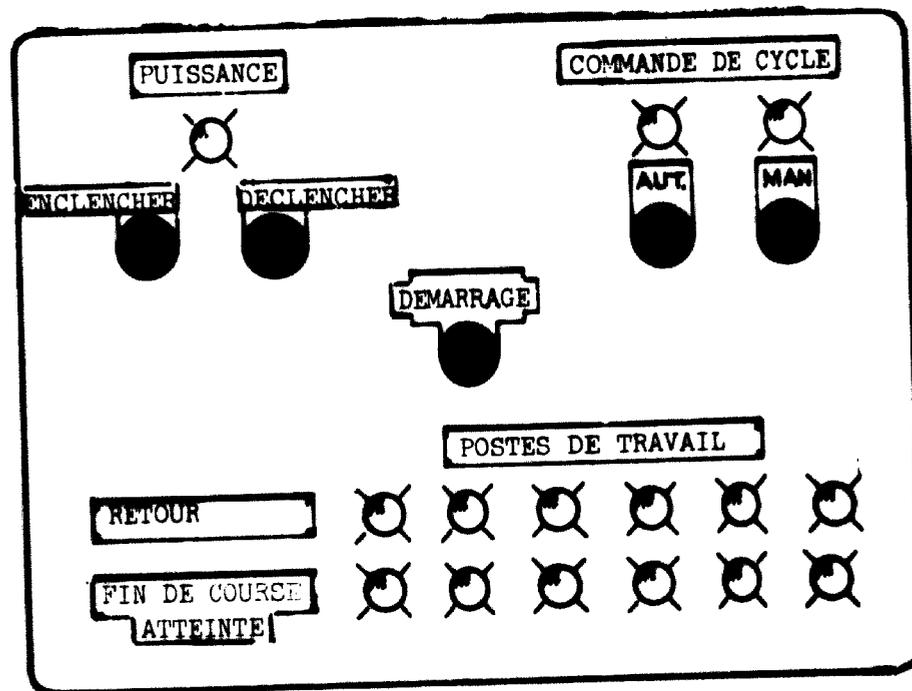




Figure 96

Table d'indexation : Console de commande



L'application de l'ACM à une moulureuse (profileuse) à broches verticales pour l'usinage des éléments en bois massif des meubles à base de panneaux se limite aux opérations d'alimentation et d'évacuation des pièces. Ceci vaut également pour les tenonneuses. Toutefois, des têtes de coupe supplémentaires peuvent être installées sur la tenonneuse, de façon à diminuer le nombre de réglages de la machine pour d'autres travaux de fraisage sur la pièce. Les tenonneuses sont également plus faciles à combiner avec d'autres machines au moyen de transporteurs de transfert.

#### Moulureuses

Les rainures, les feuillures, les arrondis et les autres profils, les tenons et les mortaises ainsi que le moulurage avec gabarit se réalisent généralement au moyen d'une moulureuse à broche verticale. Toutefois, la production d'une moulureuse à broche verticale peut être augmentée considérablement, la qualité du travail peut être améliorée et la sécurité du personnel peut être accrue si l'on a recours à un dispositif d'alimentation installé sur cette machine.

#### Rainurage

Le travail de rainurage s'effectue de préférence au moyen d'une rainureuse à grande vitesse et à grand rendement, ayant une vitesse de coupe de 15 000 tours/minute ou encore plus élevée. Plus grande est la vitesse de coupe et meilleure est la qualité de la coupe. La rainureuse de grande capacité possède une tête fixe et une table mobile. La table se déplace vers le haut et vers le bas grâce à une commande mécanique manoeuvrée par pédale. Les modèles de rainureuses les plus perfectionnées possèdent des têtes inclinables et/ou des tables inclinables. Toutefois, leur rendement ne diffère pas beaucoup de celui des rainureuses à grand débit du type à tête fixe, vu que la vitesse de rainurage continue à dépendre du rythme suivant lequel l'opérateur peut charger la pièce, l'amener contre l'outil de la rainureuse et évacuer la pièce usinée. Toutefois, le volume de la production peut être augmenté en utilisant de bons dispositifs de fixation et des gabarits de rainurage, déplacés au moyen de dispositifs pneumatiques ACM.

Les petites usines de meubles utilisent de préférence la rainureuse portable. Dans ce cas, la rainureuse se déplace au-dessus ou autour de la pièce pour effectuer son travail de rainurage. Comme dans tous les cas de travail purement manuel, le rendement est faible et la qualité du travail est médiocre. Pour améliorer la qualité du travail et augmenter la production avec une rainureuse portable, on peut adapter un dispositif permettant de fixer la tête de la rainureuse en place et de déplacer la pièce vers l'outil de la rainureuse. Le mouvement de la pièce est facilité par l'emploi d'un gabarit de rainurage ou d'un accessoire à gabarit.

Des méthodes de rainurage dans lesquelles la pièce se déplace autour d'une tête de rainurage fixe rendent l'automation possible comme on l'expliquera plus loin dans ce manuel.

#### Ponçage

Les surfaces des éléments en bois massif sont préparées en vue des revêtements ou des traitements de finition au moyen d'une vaste gamme de ponceuses. Les types suivants sont utilisés dans les usines de meubles de petites ou moyennes dimensions :

**Ponceuses à bandes étroites :**

- Ponceuse alternative à simple ou double bande;
- Ponceuse pour égaliser (ponceuse à bande horizontale);
- Ponceuse universelle à bande oscillante;
- Ponceuse à bande verticale pour le ponçage des bords et des côtés des tiroirs;

Ponceuses pour profilés qui utilisent des bandes de ponçage soutenues par un tissu et sont spécialement efficaces pour le ponçage des surfaces avec des contours ou des profils;

**Ponceuses à larges bandes :**

- Bande simple;
- Bande double;
- Plus de deux bandes.

A l'exception de la ponceuse à large bande, qui possède son propre mécanisme pour commander la pression de la bande de ponçage contre la surface de bois à poncer, toutes les autres ponceuses mentionnées ci-dessus dépendent du jugement de l'opérateur et de son habileté pour l'obtention de la pression appropriée. Il en résulte évidemment des variations dans la qualité des pièces poncées ainsi que dans le débit de la production.

Quoiqu'il soit difficilement possible de concevoir des dispositifs capables d'empêcher les erreurs de ponçage causées par les facteurs humains, il existe des cas où la disposition de la pièce et la qualité du ponçage requis permettent l'emploi d'un dispositif d'ACM simple.

La ponceuse à large bande possède également son propre mécanisme d'alimentation, un transporteur à courroies. L'espace entre la courroie du transporteur d'alimentation et la surface de la bande de ponçage peut être réglé. Par conséquent, la machine convient pour le ponçage des pièces en bois massif tout comme pour celles réalisées en panneaux. Elle peut être facilement connectée à d'autres machines de production. Il va de soi que le débit de la machine dépend largement de la rapidité avec laquelle l'opérateur peut placer les pièces sur le transporteur à courroies alimentant la machine.

**C. Applications possibles de l'automatisation à coût modéré pour la fabrication de constituants à base de panneaux**

**Préparation des placages**

L'objectif essentiel de la préparation des placages pour les constituants à base de panneaux est l'obtention de feuilles de placage (faces avant, arrières et latérales ainsi que bandes pour les bords) de dimensions et formes spécifiées et possédant le type de grain souhaité. Les trois opérations principales requises sont le rognage, l'assemblage et l'épissage; et les pièces d'outillage principalement nécessaires sont des rogneuses à placage, des assembleuses et des épisseuses.

Les placages pour les faces avant proviennent généralement d'espèces de bois de grande valeur et doivent donc être mis en oeuvre avec le plus grand soin afin de réduire le gaspillage à un minimum. Les placages pour l'avant et pour l'arrière ont généralement une épaisseur de 0,7 mm, alors que les placages pour les faces latérales peuvent avoir une épaisseur variant de 1,5 à 3 mm. Ces placages transversaux sont généralement coupés de façon à avoir leur structure de grain perpendiculaire à celle des placages pour l'avant et l'arrière.

Pour obtenir une parfaite adhésion des placages à la planche intérieure, les constituants de placage sont coupés de 5 à 10 mm plus larges ou plus longs que cette planche intérieure. Les planches intérieures sont coupées avec un excès jusqu'à 15 mm (au maximum) par rapport aux dimensions définitives suivant que les bords doivent présenter ou non des contours ou des profils.

Les placages pour les faces avant sont généralement des placages obtenus par fendage; les placages pour l'arrière sont soit des placages obtenus par fendage ou par déroulage alors que les placages latéraux sont toujours des placages déroulés. Les bandes pour les bords proviennent généralement des mêmes feuilles de placage que celles utilisées pour les placages de l'avant.

#### Rognage des placages

Les feuilles de placage constituées d'un ensemble de plaques de placage ont des bords très irréguliers et doivent être coupées longitudinalement et transversalement par rapport au grain, de façon à obtenir des feuilles rectangulaires. Une rogneuse à placage alimentée à la main, à commande pneumatique et actionnée par le pied, est la machine la plus couramment utilisée dans ce but. La précision de rognage de cette machine dépend uniquement de l'habileté de l'opérateur de la rogneuse pour mettre en place la feuille de placage d'une manière appropriée sous le couteau de la rogneuse, pour manoeuvrer le couteau, pour retirer le placage après le rognage d'un bord et replacer la feuille en vue des coupes successives. Par conséquent, l'automation de ce cycle de découpage avec ce type de machine est difficilement possible sans nuire à la précision de la coupe. La mécanisation de l'enlèvement de la feuille de placage non découpée sur la pile de placage ainsi que l'empilage des feuilles de placage découpées sur une autre palette (ou un autre récipient) constitue également un problème difficile à résoudre. Même dans certains pays fortement industrialisés, les placages sont encore rognés manuellement.

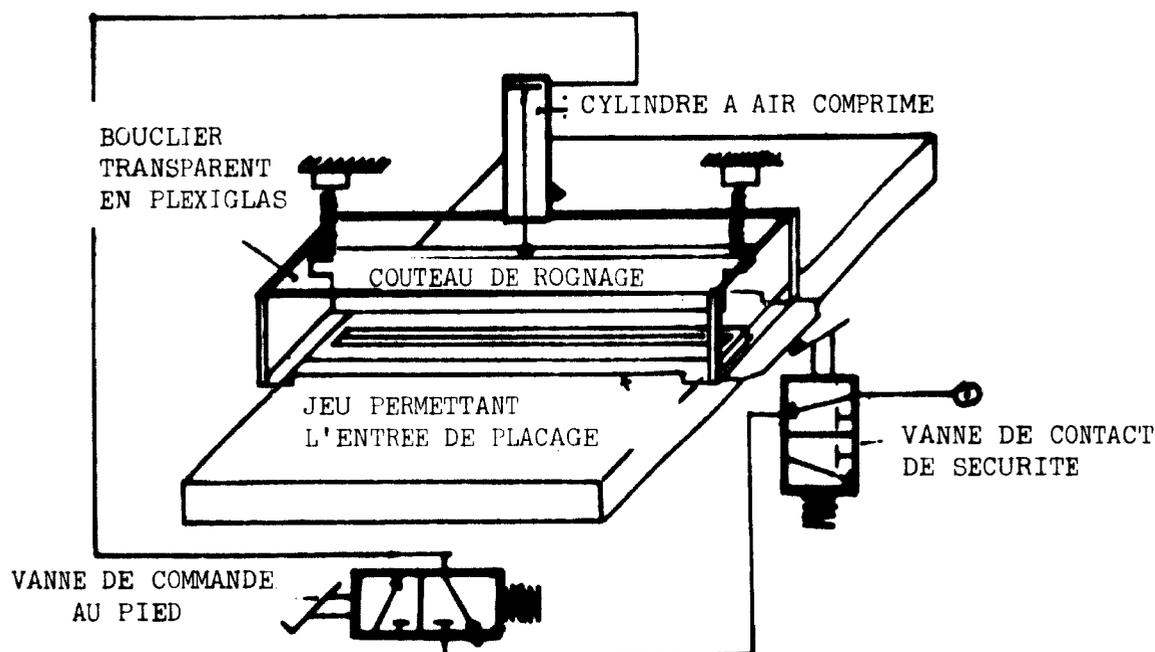
Toutefois, des considérations relatives à la sécurité exigent de réduire à un minimum le risque pour l'opérateur de se couper la main ou les doigts au cours d'un cycle de découpage de placages. Un dispositif de sécurité, comme représenté à la figure 97, permet de réduire la fréquence des accidents en cours de rognage. Le dispositif coupe l'alimentation d'air à la vanne actionnée par le pied chaque fois que le bouclier de sécurité est soulevé accidentellement (ou intentionnellement) en fermant la vanne de contact, ce qui rend impossible la manoeuvre du couteau de rognage.

#### Assemblage des placages

Dans les usines de petite ou moyenne importance, la rogneuse à placage est utilisée couramment pour l'assemblage des placages. Certaines de ces usines utilisent la guillotine ordinaire à commande hydraulique pour assembler les placages transversaux et les placages arrières. Cette machine permet l'assemblage simultané de plusieurs feuilles. D'autres usines plus perfectionnées ont recours à la combinaison d'une assembleuse à bloc de coupe et d'une refendeuse. Toutes ces machines sont alimentées à la main. L'automation des machines, une fois qu'elles sont installées, est par conséquent difficilement réalisable. Toutefois, des dispositifs de sécurité peuvent être installés dans les machines afin d'éviter les accidents.

Figure 97

Dispositif de sécurité pour rogneuse à placages



Refendage des placages

Les machines principalement utilisées pour le refendage des placages dans les usines de meubles de petite et moyenne importance sont très semblables sinon identiques à celles que l'on trouve dans les départements de traitement du placage sec des usines à contreplaqué. Un modèle de refendeuse utilise un transporteur à courroie pour amener les feuilles de placage (avec des bords assemblés par collage) pour être pressées sur un plateau métallique par une calandre chauffée qui provoque le durcissement de la colle aux joints d'épissage du placage. Il en résulte une feuille de placage continue, qui est alors rognée aux dimensions désirées au moyen d'une rogneuse à placage ordinaire. Un autre modèle dépose un filet de produit adhésif en zig-zag à travers le joint à épisser et dépose des gouttes de matière adhésive thermoplastique sur les arêtes à joindre avec des écartements prédéterminés. D'autres modèles encore utilisent du ruban à épisser, qui est éliminé ultérieurement par ponçage après l'assemblage complet du constituant de meuble à base de panneaux.

Le modèle de refendeuse utilisant un filet de colle est hautement recommandé pour le refendage des placages de l'avant et du dessous alors que le modèle utilisant une calandre chauffée est préférable pour le refendage des placages transversaux. Une fois encore, la conception des refendeuses utilisant un filet de colle ou un ruban ou déposant des gouttes de colle sur les joints à épisser est telle que l'alimentation et le déchargement purement manuels de la machine sont les seuls possibles. Le modèle qui produit une feuille continue offre une bonne occasion de mécaniser l'alimentation et de la connecter aux opérations d'assemblage.

La combinaison de machines à refendre et à assembler les placages est considérée comme étant optimale pour les usines de meubles de moyenne importance.

Toutefois, certains progrès récents dans la technique du refendage des placages ont permis de réaliser des machines de refendage avec assembleuse à bloc de coupe, qui découpe le bord du placage à l'avant de la tête qui dépose un filet adhésif en zig-zag, de façon à obtenir une feuille continue de placage de face ou de dessous. Ce type de refendeuse est recommandé pour les productions importantes. Une automation plus poussée de la machine en recourant à l'ACM est difficilement possible dans de telles circonstances.

#### Préparation des planches intérieures à partir de panneaux à base de bois

La machine principale pour le découpage des panneaux à base de bois, de façon à obtenir des planches plus petites utilisables comme matériau de noyau pour les constituants de meubles à base de panneaux, est la scie à table pourvue d'un prolongement de table à glissière. Dans certains cas, la scie à table est équipée d'un axe inclinable pour permettre des coupes en biseau des bords de la planche. Le panneau est amené à la main jusqu'à la lame de scie et le prolongement de table à glissière facilite le découpage des bords longs et rectilignes.

Parmi les modèles les plus perfectionnés de scie pour panneaux, il faut citer les suivants :

a) Scie à panneaux à châssis vertical, où le panneau est placé en position verticale sur le châssis puis est maintenu par les dispositifs de fixation, tandis que la scie se déplace en travers de la planche de façon à obtenir les largeurs (ou longueurs) désirées grâce à une plate-forme mobile qui monte et descend sur la longueur (ou la largeur) de la planche;

b) Scie à panneaux à portique, où le panneau (ou les panneaux) sont disposés horizontalement sur le châssis de la machine, et y sont maintenus par un dispositif de fixation judicieusement disposé. Le dispositif à portique supporte plusieurs éléments de sciage dont l'un coupe la planche transversalement lorsque le portique se déplace d'une extrémité à l'autre du panneau. Chaque élément de sciage est actionné à l'endroit exact de découpage au moyen d'interrupteurs de fin de course qui arrêtent le mouvement du portique, font démarrer le moteur de la scie et font fonctionner le dispositif déplaçant l'élément de sciage le long de la surface du panneau.

Dans certaines usines, une scie de débitage à simple lame avec alimentation par chaîne et large table est utilisée pour découper les panneaux à base de bois en planches plus petites. Cette méthode nécessite le passage répété du panneau à travers la machine afin de découper les différents formats de planche désirés. Ceci n'est possible que si un type convenable de lame de scie pour coupage transversal est utilisé pour découper les panneaux. A nouveau, le système de transport ACM permettant de ramener les planches vers la scie, comme représenté à la figure 86, peut être utilisé dans ce cas.

### Placage des panneaux

Les feuilles de placage sont disposées sur la planche intérieure revêtue de colle du type urée et sont pressées à chaud (100 - 120°C) au moyen d'une presse hydraulique à ouvertures multiples. Dans les usines de meubles de petite et moyenne importance, les presses à chaud sont généralement chargées et déchargées à la main. Il en résulte une production faible. Dans certaines usines de moyenne importance équipées de 15-20 presses à chaud, un ascenseur transportant les ouvriers et les panneaux est utilisé pour le chargement. Le chargement et le déchargement sont effectués tous deux du même côté de la presse à chaud et cela de la manière suivante :

- a) L'ascenseur est soulevé jusqu'au niveau du plateau supérieur et le déchargement commence à partir de ce plateau supérieur;
- b) L'ascenseur est graduellement abaissé au niveau de chacun des plateaux inférieurs de façon à permettre le déchargement des panneaux;
- c) La pile de panneaux pressés à chaud est enlevée de l'ascenseur quand celui-ci est dans sa position normale (la plus basse possible) et une pile de panneaux superposés est poussée sur l'ascenseur;
- d) Le chargement commence par le plateau inférieur et progresse vers le haut jusqu'à ce que le plateau supérieur soit chargé;
- e) L'ascenseur est rabaissé jusqu'à sa position normale après l'achèvement de l'opération de chargement.

Toutefois, si le cycle de pressage est plus court que le temps requis par l'ascenseur pour se déplacer du plateau supérieur jusqu'au plateau inférieur, l'ascenseur reste au niveau du plateau le plus élevé et attend l'ouverture des plateaux, puis la phase de déchargement s'effectue comme décrit ci-dessus.

Dans les usines de meubles à base de panneaux de conception plus moderne, le pressage à chaud s'effectue au moyen d'une presse à chaud à cycle court et à simple ouverture. Les planches sont encollées et les panneaux sont assemblés à l'extrémité d'alimentation de la presse à chaud. Le déchargement et le chargement s'effectuent rapidement grâce à un système de transporteurs et de connexions mécaniques. Ce type de presse à chaud peut être facilement connecté à d'autres machines au moyen de transporteurs. En outre, il peut être utilisé pour plaquer sur les planches intérieures des feuilles de matière synthétique (PVC, etc.). Dans ce cas, la matière synthétique, enroulée sur une bobine, est amenée dans la presse au moyen de rouleaux et est coupée à longueur désirée au moyen d'un couteau de refendage spécialement conçu, qui se déplace suivant la largeur de la planche à l'extrémité de sortie de la presse à chaud.

Il résulte de l'exposé ci-dessus que l'application de l'ACM à l'opération de pressage à chaud elle-même peut impliquer des modifications radicales dans la conception de la presse elle-même, si bien que les usines de meubles de petite et moyenne importance ne seront généralement pas capables d'y faire face. Toutefois, la connaissance des principes de l'ACM contribue à assurer un entretien correct de la presse à chaud, vu que le système hydraulique et les commandes à minuterie de la presse à chaud sont conçus en fonction de principes semblables à ceux de l'ACM.

### Préparation des bords des panneaux

Les bords des panneaux doivent être préparés avant le placage des bords ou le profilage des bords. Une scie de découpage pour placages est utilisée chaque fois que les bords doivent être recouverts de placage. Dans certaines constructions à base de panneaux, toutefois, une moulureuse à broche verticale est utilisée pour éliminer l'excès de placage des bords des panneaux. Cette technique est appliquée lorsqu'une latte de bord en bois massif est collée sur la planche intérieure et qu'un profil doit être découpé dans ces lattes de bord. Cette technique ne convient que si les angles de bord sont arrondis. La finition des bords avec placage permet d'obtenir des panneaux à angles vifs et droits.

La scie à table avec prolongement de table à glissière est utilisée couramment pour le sciage à longueur des placages dans les usines de meubles de petite et moyenne importance. Ce type de scie, quand il est équipé d'un arbre inclinable, facilite le découpage des bords biseautés dans les planches, à condition que les panneaux ne soient pas trop grands. L'automatisation de cette opération particulière peut être réalisée comme l'indique la figure 98.

Si les bords du panneau doivent être profilés, un système d'ACM, comme représenté à la figure 99, permettra d'accélérer le travail et d'améliorer la qualité de la finition des panneaux à angles arrondis. Toutefois, un système ACM semblable à la disposition de la figure 98 sera plus efficace si les panneaux présentent des angles droits.

### Placage des bords

Des bandes de placage sont collées sur les bords du panneau à l'aide de dispositifs de serrage et de fixation. Dans la plupart des cas, la prise de la colle s'effectue pendant que les bandes de placage sont encore maintenues sur les bords du panneau - il s'agit donc d'une opération très lente.

La prise et le durcissement de la colle peuvent être accélérés par un chauffage approprié. La figure 100 montre comment ce résultat peut être obtenu au moyen de constituants ACM, d'une soudeuse à l'arc électrique et d'un morceau de tuyau d'incendie ordinaire. La quantité de chaleur engendrée par les bandes de cuivre est réglée en faisant varier le courant admis dans la soudeuse.

La pression requise sur la bande de placage est obtenue en faisant varier la quantité d'air admise dans le tuyau d'incendie par l'intermédiaire d'un interrupteur de pression réglable. La durée de la période de la mise sous pression est commandée par la minuterie connectée à la soudeuse.

L'étape suivante, après l'encollage des bandes de placage sur les bords de la planche, consiste à araser les bords du placage suivant la surface du panneau et à réaliser un léger chanfrein sur la bande du bord afin de casser les angles vifs. Dans les usines de petite et moyenne importance, cette opération s'effectue couramment en utilisant une profileuse (moulureuse à broche verticale). Dans les usines plus modernes, l'encollage, l'arasement et le chanfreinage du placage des bords sont des opérations effectuées successivement par une seule machine, la machine à border les panneaux. Des machines à border à simple et double bord sont couramment disponibles sur le marché.

Figure 98

Automation à coût modéré appliquée au sciage à dimension des bords des panneaux au moyen d'une scie avec table à prolongement

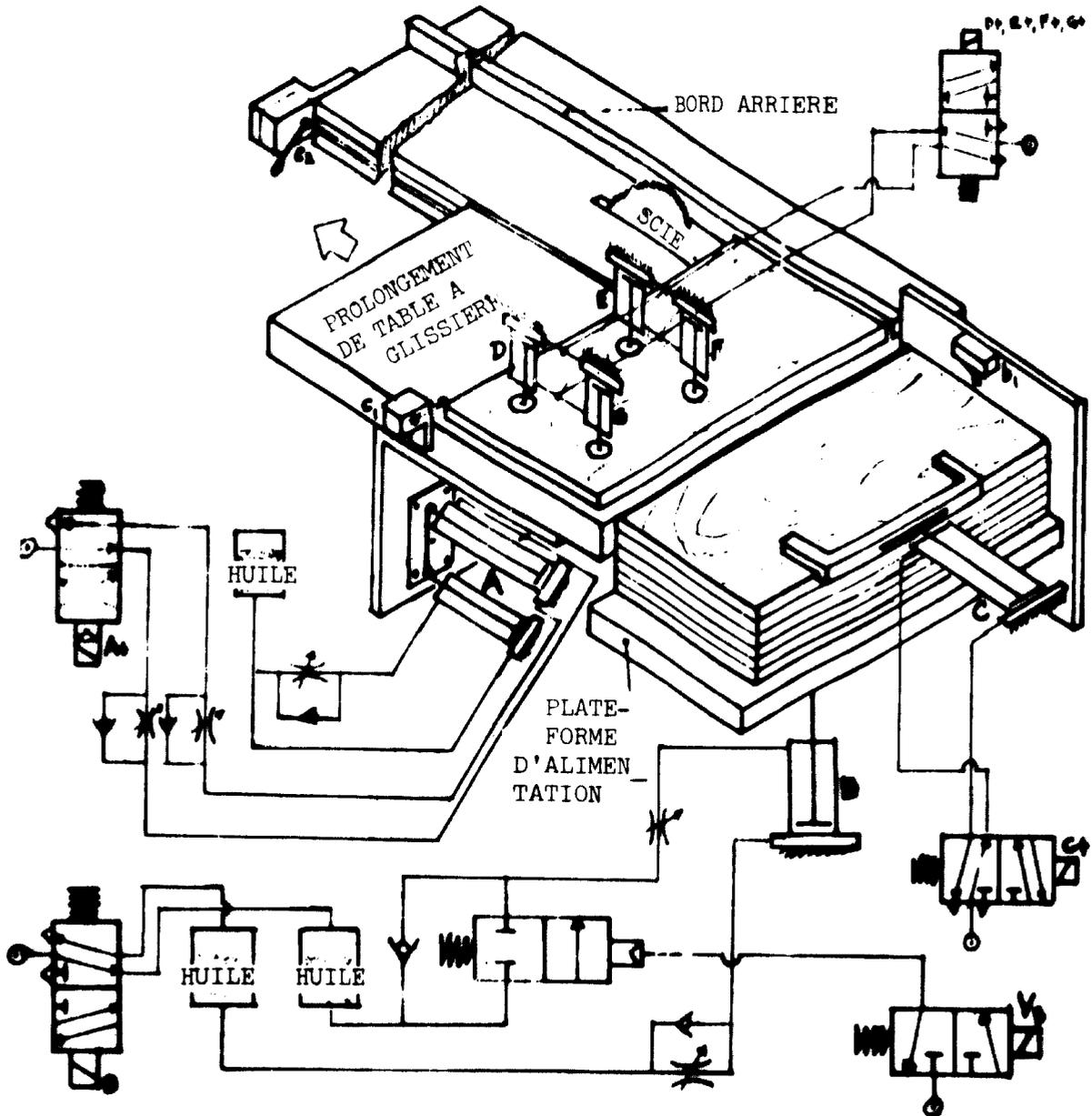
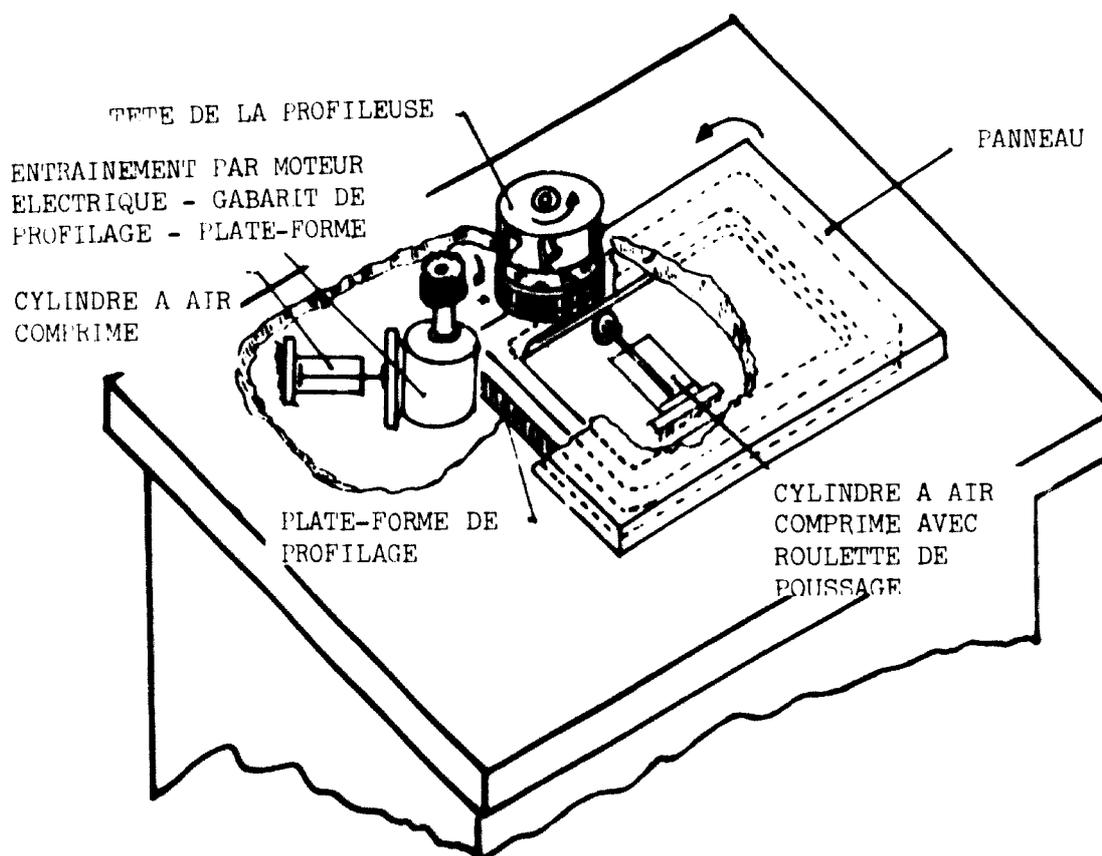


Figure 99

Profilage des bords sur moulureuse à broche  
verticale avec système d'automatisation  
à coût modéré



L'usage

Les opérations d'usinage effectuées sur les constituants à base de panneaux sont semblables à celles effectuées pour les éléments en bois massif, sauf que les machines nécessaires pour usiner les constituants à base de panneaux doivent présenter des tables de travail ou des plate-formes de plus grande dimension. Il en résulte que les principes d'automatisation envisagés à propos des opérations d'usinage des constituants en bois massif s'appliquent également aux opérations d'usinage des constituants à base de panneaux.

Les découpes dans les constituants à base de panneaux s'effectuent généralement à la main au moyen d'une rainureuse de grande puissance. C'est une opération lente, en particulier lorsque les panneaux ont une épaisseur supérieure à 19 mm. En outre, la qualité de ce travail de rainurage varie d'un panneau à l'autre lorsque l'ouvrier devient fatigué. Cette situation pourrait être améliorée en recourant à des systèmes d'ACM. La figure 101 indique comment ceci peut s'effectuer en utilisant des dispositifs

Figure 100

Encollage du placage des bords avec un dispositif d'automation à coût modéré

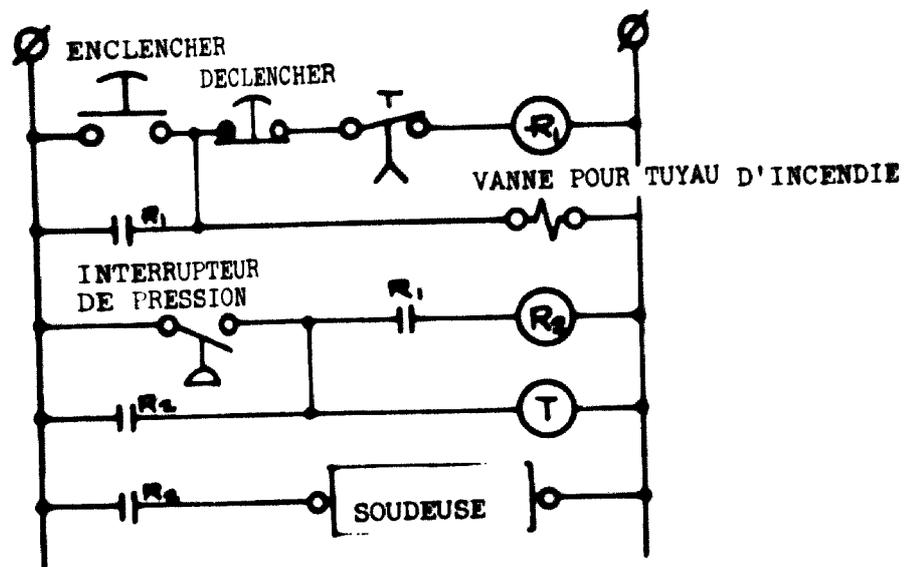
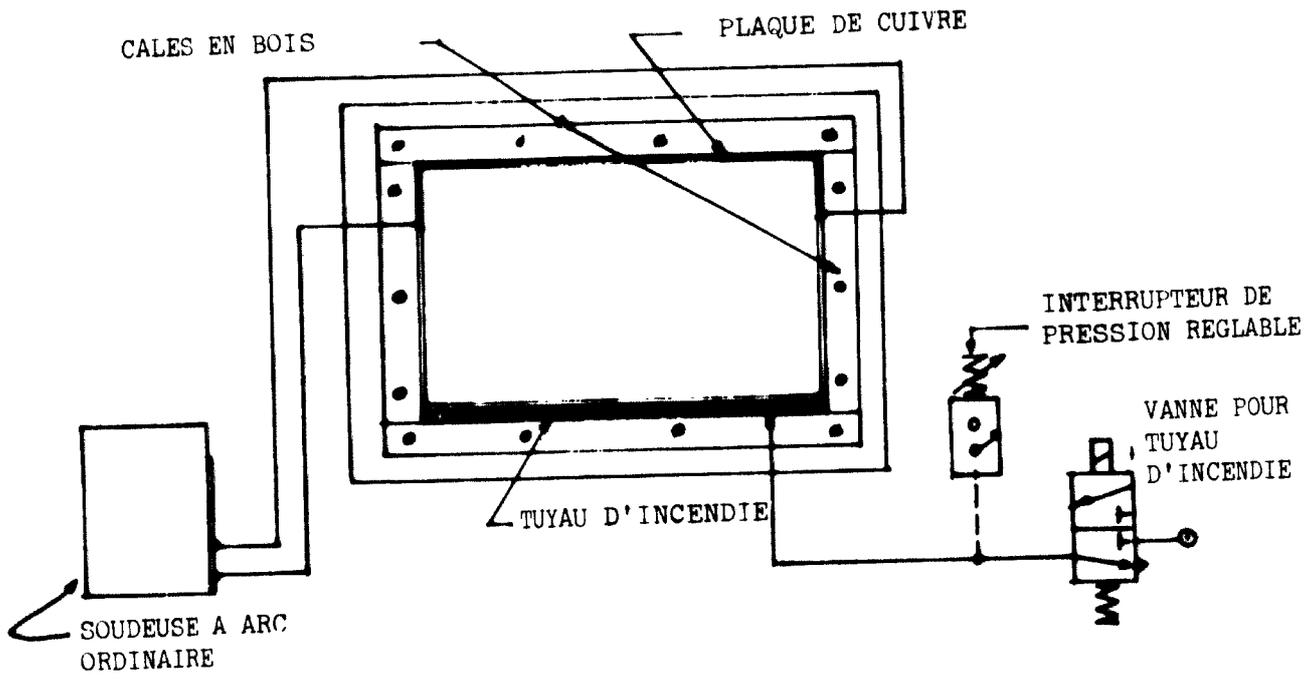
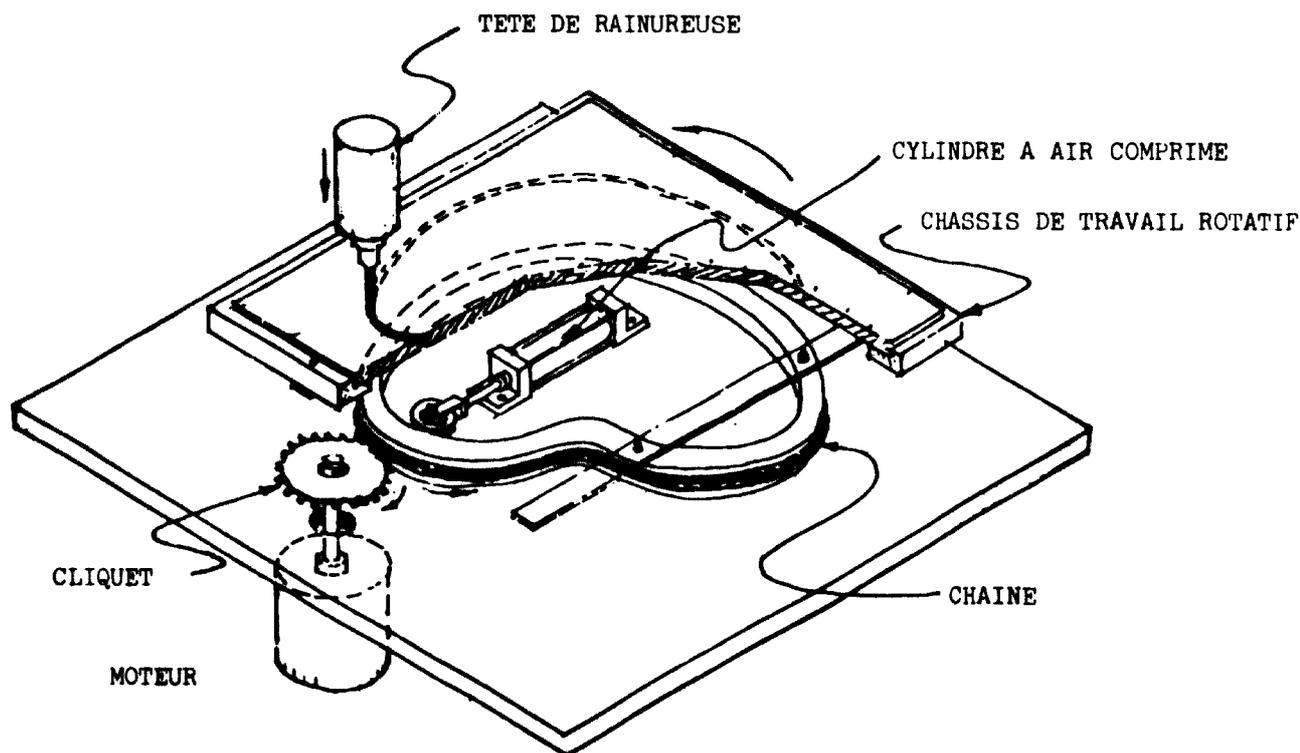


Figure 101

Enlèvement de découpes dans des panneaux à l'aide  
d'un dispositif d'automation à coût modéré



d'ACM simples. Quand la charge de travail de la rainureuse se rapportant aux découpes dans les panneaux est importante, il peut se justifier d'automatiser la rainureuse d'une manière spécialement adaptée à l'obtention des découpes, comme c'est le cas dans le second exemple qui illustre ce document. La table de travail originale, avec châssis d'acier de la rainureuse à grand débit, est remplacée par un cadre d'acier, qui supporte les cylindres pneumatiques, les vannes et les interrupteurs de fin de course destinés à commander le déplacement du panneau sous l'outil de la rainureuse. Les mouvements principaux du panneau sont de gauche à droite et vers l'avant et l'arrière de l'outil de la rainureuse. D'autres profils de découpe peuvent être obtenus en adaptant le tracé du système ACM en fonction du profil désiré.

Attention : Ce type de découpage donne toujours lieu à des coins arrondis de la découpe. Le degré de netteté des angles arrondis dépend de la dimension de l'outil de rainurage utilisé.

### Ponçage

Les usines de meubles à base de panneaux de petite et moyenne importance utilisent couramment des ponceuses à bande étroite (ponceuse à course simple ou double) pour le ponçage des constituants à panneaux. Comme expliqué dans la section précédente, cette opération est assez lente et nécessite un ouvrier hautement qualifié. Les risques d'enlèvement du placage par ponçage sur les bords du panneau sont importants.

Les usines plus modernes utilisent des ponceuses à large bande, en général des modèles à double bande, alors que d'autres usines utilisent des ponceuses à tambour. Ces machines de ponçage moderne possèdent leur propre mécanisme d'alimentation et peuvent être facilement connectées à d'autres opérations dans l'usine.

Les bords des constituants à base de panneaux sont généralement poncés, dans les usines de petite et moyenne importance, sur une ponceuse universelle pourvue d'un mécanisme oscillant de la bande de ponçage. Certains modèles de ce type de ponceuse possèdent des tables qui peuvent être inclinées pour permettre le ponçage des panneaux avec des angles obliques (biseautés). La surface du panneau à poncer est poussée à la main contre la bande de ponçage en mouvement. Une fois encore, un certain degré de qualification de la part de l'ouvrier est indispensable afin de réduire à un minimum les rebuts de ponçage. L'automation de cette opération est difficilement possible sans perturber le mécanisme du travail et la conception de la machine.

Les panneaux pourvus de bords profilés doivent être poncés sur leurs bords au moyen d'une ponceuse de contour pourvue d'une bande de ponçage étroite soutenue par un tissu. La clef du succès de cette opération est d'avoir un tampon de support de la bande de ponçage qui a le profil correct; il doit en effet correspondre exactement au profil du bord du panneau.

#### D. Applications possibles de l'automation à coût modéré pour les opérations d'assemblage dans la fabrication de meubles à base de panneaux

Les outils et accessoires essentiels utilisés entre autres pour l'assemblage des meubles à base de panneaux sont des tournevis, des serre-joints en "C" et des dispositifs de fixation à barres, des serre-joints à genouillères, des dispositifs d'empilage, des applicateurs de colle, des gabarits et des dispositifs d'assemblage, et des dispositifs de fixation pour les châssis et les carcasses.

La clef d'un travail d'assemblage rapide et efficace réside dans l'emploi de gabarits et d'accessoires appropriés, pourvus de dispositifs de fixation et d'autres accessoires permettant de fixer les pièces à usiner. Des gabarits et des dispositifs séparés sont nécessaires pour le sous-assemblage des tiroirs, des étagères spéciales et des cloisons d'armoires; des appliques sur les portes et les avants de tiroirs, des mécanismes automatiques pour le verrouillage des tiroirs. Des gabarits et dispositifs d'assemblage modulaire peuvent être conçus et fabriqués pour l'assemblage de la carcasse, des côtés, du sommet, de l'arrière et du fond des meubles à base de panneaux. Cette méthode laisse l'avant ouvert pour faciliter l'accès aux zones intérieures de l'armoire. Dans certains cas, le panneau supérieur est le dernier à être monté, en particulier

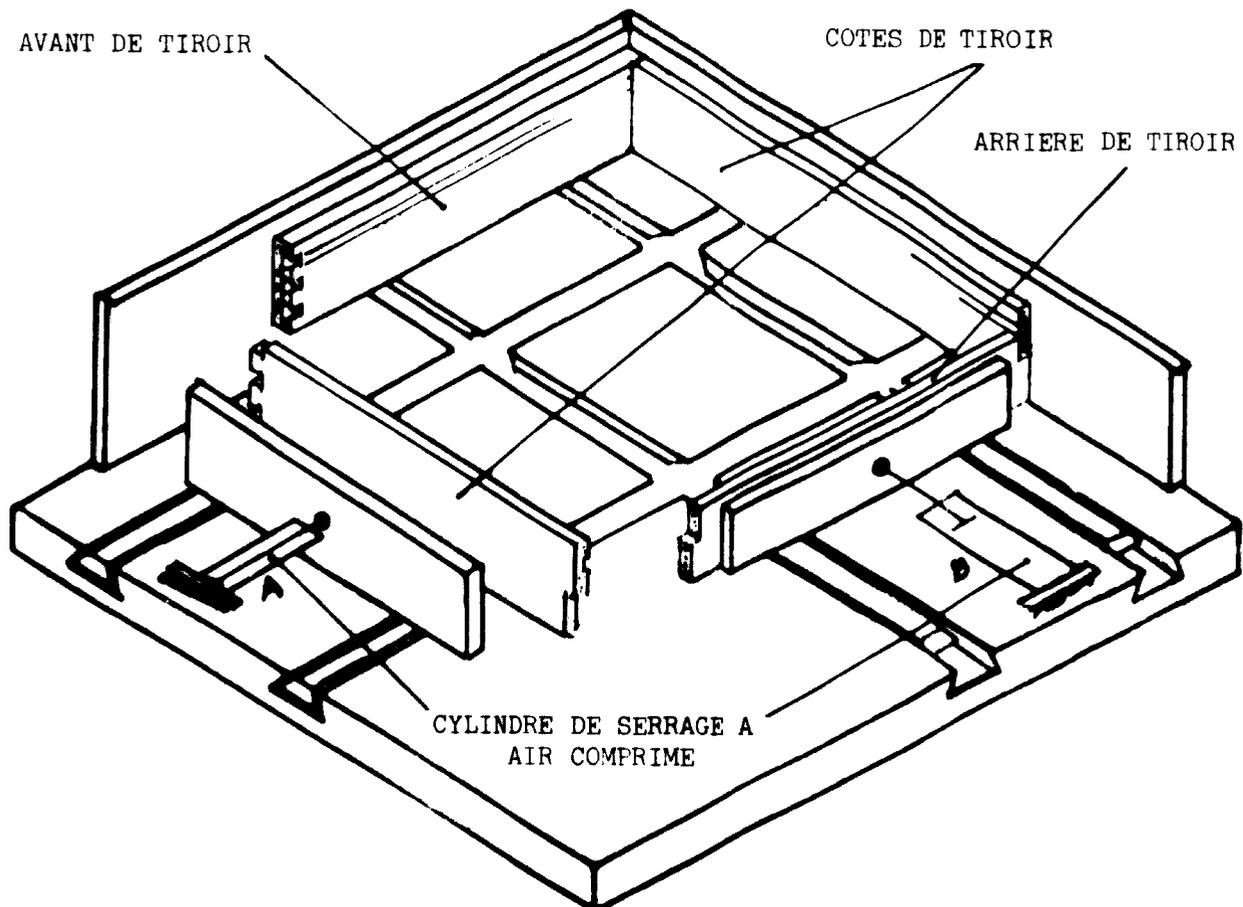
dans les meubles où le panneau supérieur présente des bords en saillie sur les côtés et sur l'avant comme, par exemple, dans le cas des tables de nuit ou des garde-robres. Dans d'autres cas, toutefois, le panneau arrière est le dernier à être monté, comme c'est le cas pour les éléments de diffuseurs stéréo ou pour le type à console des armoires de radio-phonographe.

### Assemblage des tiroirs

Que le meuble à base de panneaux soit expédié à l'état assemblé ou à l'état démonté, les tiroirs sont toujours assemblés avant la finition. Le tracé des meubles modernes implique des faces avant des tiroirs qui soient au ras de la face antérieure de l'armoire contrairement aux conceptions des anciennes armoires, où les faces avant des tiroirs étaient pourvues de rebords recouvrant la face avant des bords de tiroir, en cachant donc le jeu existant entre le tiroir et le support de tiroir. Par conséquent, les tiroirs doivent être assemblés le mieux d'équerre possible de façon à obtenir l'ajustage le plus parfait possible dans le logement du tiroir. Cette contrainte impose un strict respect des tolérances d'usinage du tiroir et des constituants du support de tiroir, de façon à ce qu'une rectitude parfaite soit obtenue au moment de l'assemblage des tiroirs. La rectitude parfaite dans l'assemblage des tiroirs s'obtient de préférence en ayant recours à des gabarits d'assemblage métalliques et à des dispositifs de serrage à commande pneumatique, qui maintiennent solidement en place les constituants jusqu'à ce que les dispositifs de fixation aient été placés afin de maintenir les constituants du tiroir dans une disposition parfaitement d'équerre. La figure 102 représente un gabarit d'assemblage de ce genre.

Figure 102

### Gabarit d'assemblage pour tiroir

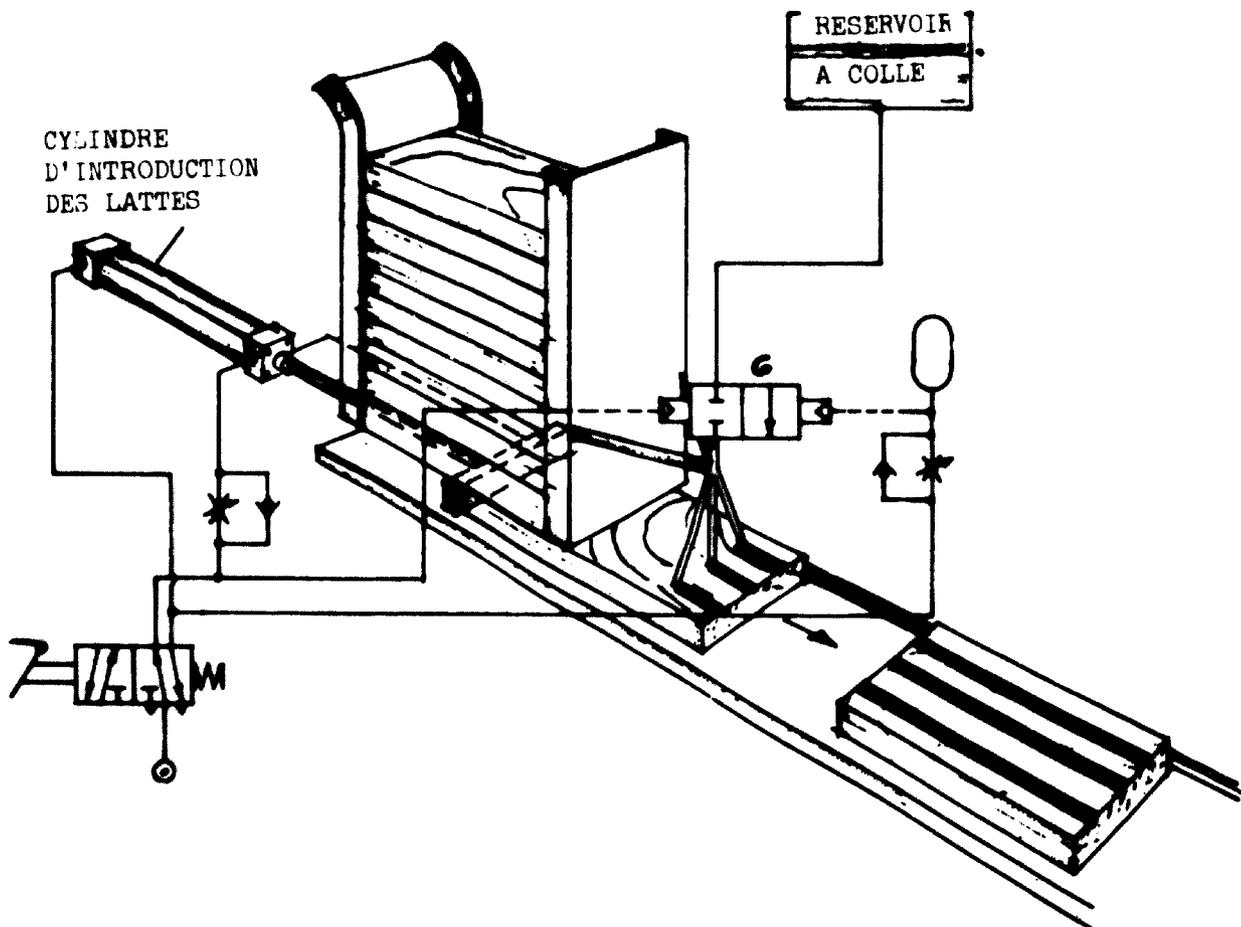


### Application de la colle

Trop de colle ou trop peu de colle pour l'assemblage donne en tout cas des résultats médiocres. Un excès de colle produit des coulées de colle et un résultat peu soigné. Les joints avec trop peu de colle sont faibles parce que la force d'adhésion est insuffisante pour assurer la solidité du joint. Par conséquent, pour satisfaire aux exigences précises quant à l'application de la colle, un dispositif actionné par des constituants ACM, semblable au système représenté à la figure 103, peut aider les ouvriers à réaliser un travail de collage satisfaisant. La quantité de colle déposée sur la pièce de bois est déterminée par la dimension des tuyères et par la vitesse avec laquelle la pièce de bois est avancée sous les tuyères à colle.

Figure 103

Application de colle avec dispositif  
de commande d'automatisme  
à coût modéré



### Outils de vissage

S'il existe des trous-pilote de diamètre convenable, des vis à bois peuvent être utilisées pour fixer la quincaillerie et les autres accessoires aux constituants de meubles à base de panneaux. Il existe toutefois le risque

de faire tourner la vis plus que ce que le support en bois peut admettre et donc en détruisant la force de retenue du filet de la vis dans le panneau à base de bois. Un tel survissage de la vis se présente fréquemment quand on utilise des tournevis mécaniques. L'emploi de tournevis pneumatiques équipés d'un dispositif à cliquets réglables permet de réduire les rebuts dus au survissage des vis à bois. Le dispositif à cliquets peut être réglé de façon à adapter les limitations de vissage en fonction de chaque type de base de panneau et de chaque dimension de vis.

#### Gabarits et dispositifs d'assemblages modulaires

Les meubles modernes à base de panneaux sont constitués essentiellement d'éléments rectangulaires ou carrés. Cette caractéristique permet de concevoir des gabarits d'assemblages modulaires pour l'assemblage de la carcasse du constituant à base de panneaux ainsi que pour l'assemblage du panneau à la carcasse. La figure 104 représente les propositions de P. Paavola pour un gabarit d'assemblage de ce genre, de façon à permettre l'assemblage de deux armoires en même temps. Le gabarit fait appel à un tuyau d'incendie dans lequel on pompe de l'air afin de maintenir en place les constituants d'assemblage.

Pour l'assemblage des portes d'armoires, on peut utiliser le dispositif représenté à la figure 105 et qui fait également appel à un tuyau d'incendie et à un cylindre pneumatique avec des vannes de commande appropriées afin d'obtenir la pression requise sur les pièces à assembler.

#### E. Application possible de l'automation à coût modéré aux opérations de parachèvement dans la fabrication de meubles à base de panneaux

Les étapes principales de l'application d'une couche de finition transparente sur les meubles en bois peuvent se résumer comme suit :

- Coloration partielle ou de toute la surface;
- Remplissage;
- Scellement;
- Ponçage léger (si nécessaire);
- Application d'une couche de finition;
- Polissage (bufflage), si nécessaire.

#### Coloration

La coloration se réalise normalement par pulvérisation, en utilisant des pistolets classiques à air comprimé. L'objectif essentiel de la coloration par place est d'accentuer la teinte des zones d'aubier sur le placage de face, de façon à ce qu'il s'harmonise aux autres zones de la face du panneau. Dans le cas de la coloration de toute la surface, l'objectif est d'égaliser l'intensité de la coloration de la surface du panneau, en particulier dans le cas de placages provenant d'une espèce de bois qui présente un certain

Figure 104

Dispositif d'assemblage pour armoire  
à base de panneaux

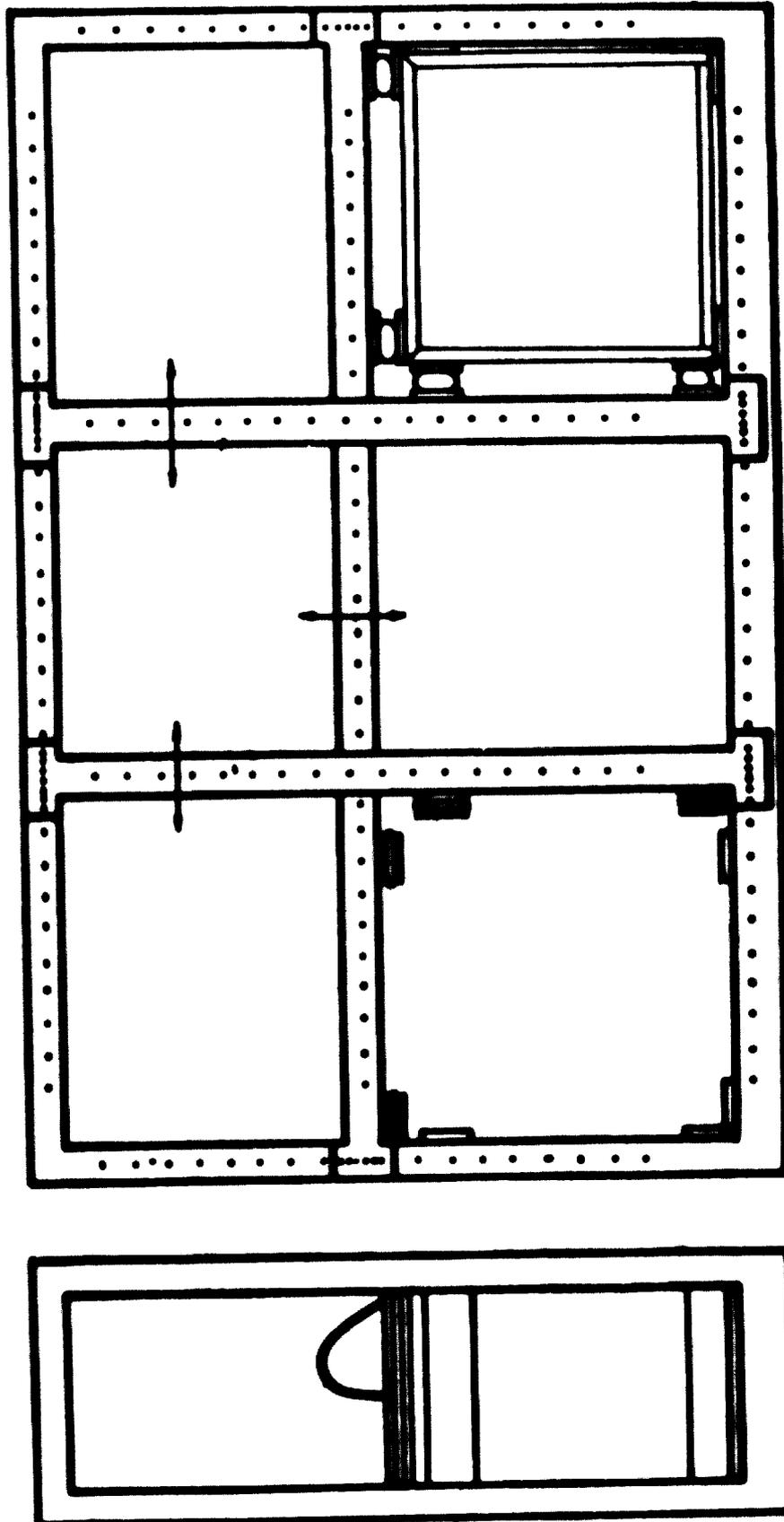
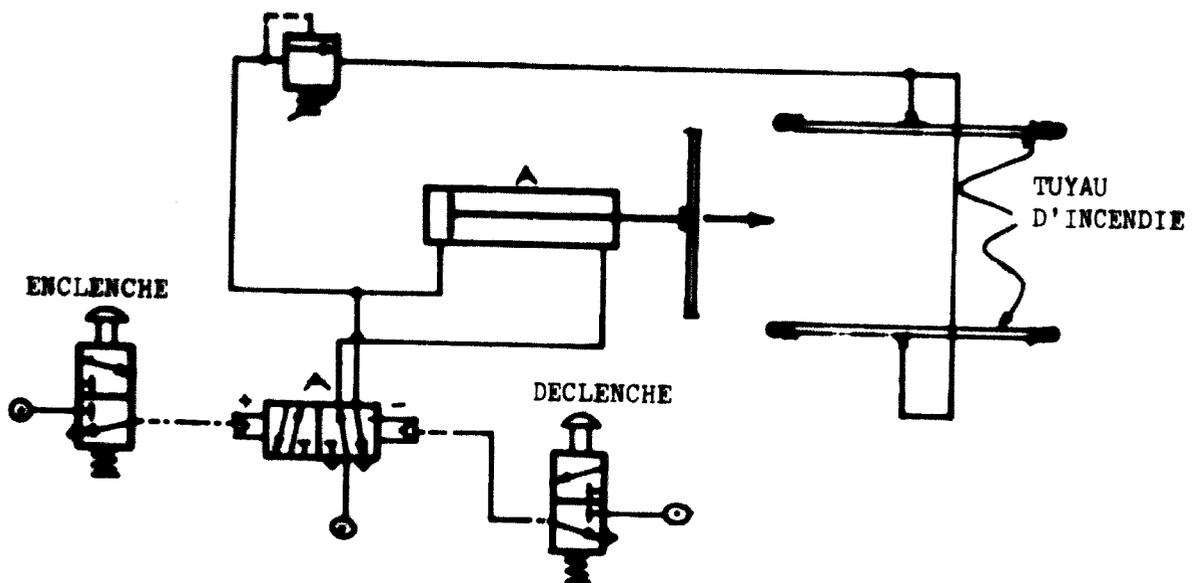
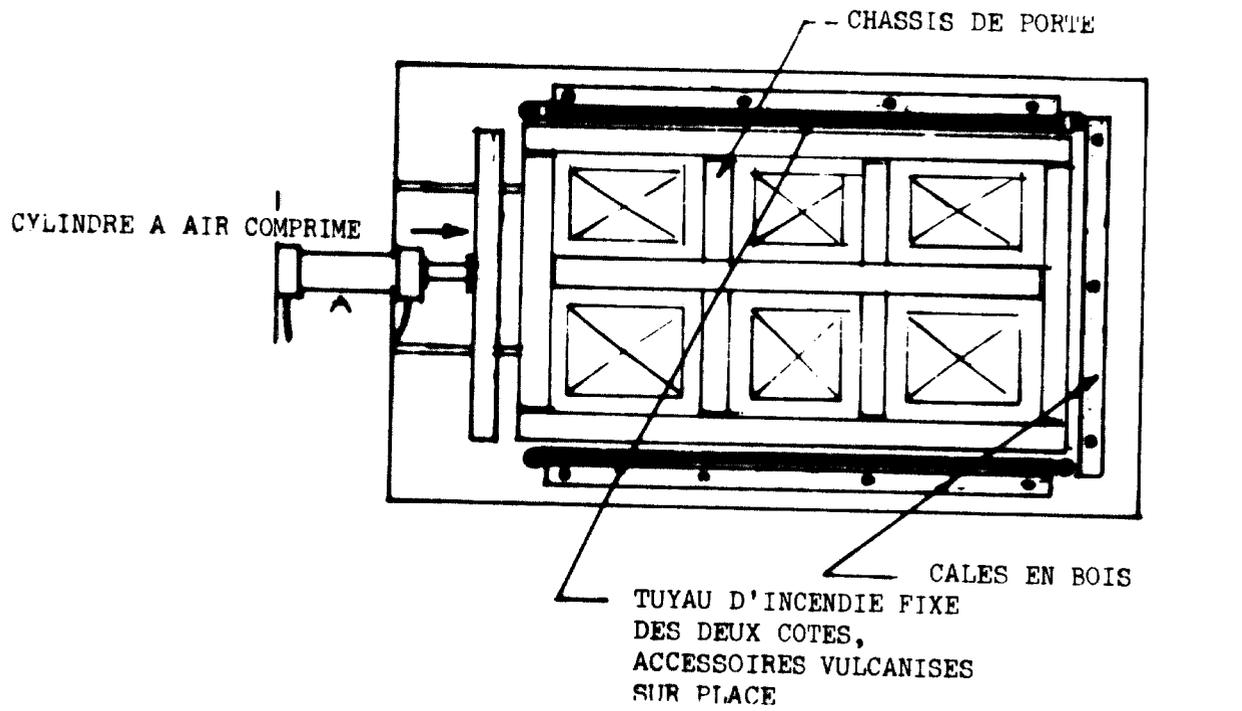


Figure 105

Gabarit d'assemblage  
pour porte d'armoire



degré de différence dans l'absorption et la réflexion de la lumière entre les deux faces de la feuille de placage. Dans d'autres cas, la coloration complète est utilisée pour accentuer la teinte ou pour donner à la surface du panneau une autre coloration. Par conséquent, le succès de cette opération dépend essentiellement de la possibilité pour l'oeil humain de détecter les zones qui requièrent plus de coloration ou de déterminer la quantité de teinture à pulvériser sur la surface du panneau. Il en résulte que cette opération pourrait difficilement être automatisée.

#### Remplissage des pores

Le matériau de base ordinaire pour le remplissage est un produit bouche-pores contenant une huile à séchage rapide. Le but de l'opération est de remplir les pores de la surface du placage avec un matériau de remplissage, de façon à obtenir une surface lisse après l'application d'une couche de finition. La clef du succès de cette opération implique l'emploi de dispositifs capables d'enfoncer efficacement les particules de produit de remplissage dans les pores du bois. Une machine alternative actionnée par air comprimé, avec des patins pourvus de tampons en feutre, est utilisée généralement pour cette opération. Cette machine est actionnée à la main. Une machine d'application rotative a donné des résultats meilleurs qu'une machine d'application alternative. Cette opération est décrite en détail avec les problèmes d'échantillons, au cas "C".

#### Application d'une couche de scellement

La couche de scellement est normalement appliquée par pulvérisation à la main mais, dans certaines usines de meubles de moyenne importance, elle est étendue au moyen d'un applicateur à rideau de pression. Si le matériau de scellement est correctement choisi en fonction de la machine, il est possible de faire des économies impressionnantes sur la matière première et la main-d'oeuvre. Comme deux bords seulement du panneau, outre la face supérieure, peuvent être revêtus en une passe à travers la machine, un dispositif, capable de ramener le panneau enduit à l'extrémité d'alimentation de la machine, contribue grandement à accélérer la production. La figure 106 représente un tel système pourvu d'un dispositif automatique du transport du panneau.

Dans le cas des meubles assemblés, la couche de scellement est appliquée par pulvérisation. Si l'importance du travail de pulvérisation justifie l'automatisation de cette opération, un système automatique de pulvérisation complété par des dispositifs ACM peut être mis au point (voir figure 6).

#### Ponçage léger

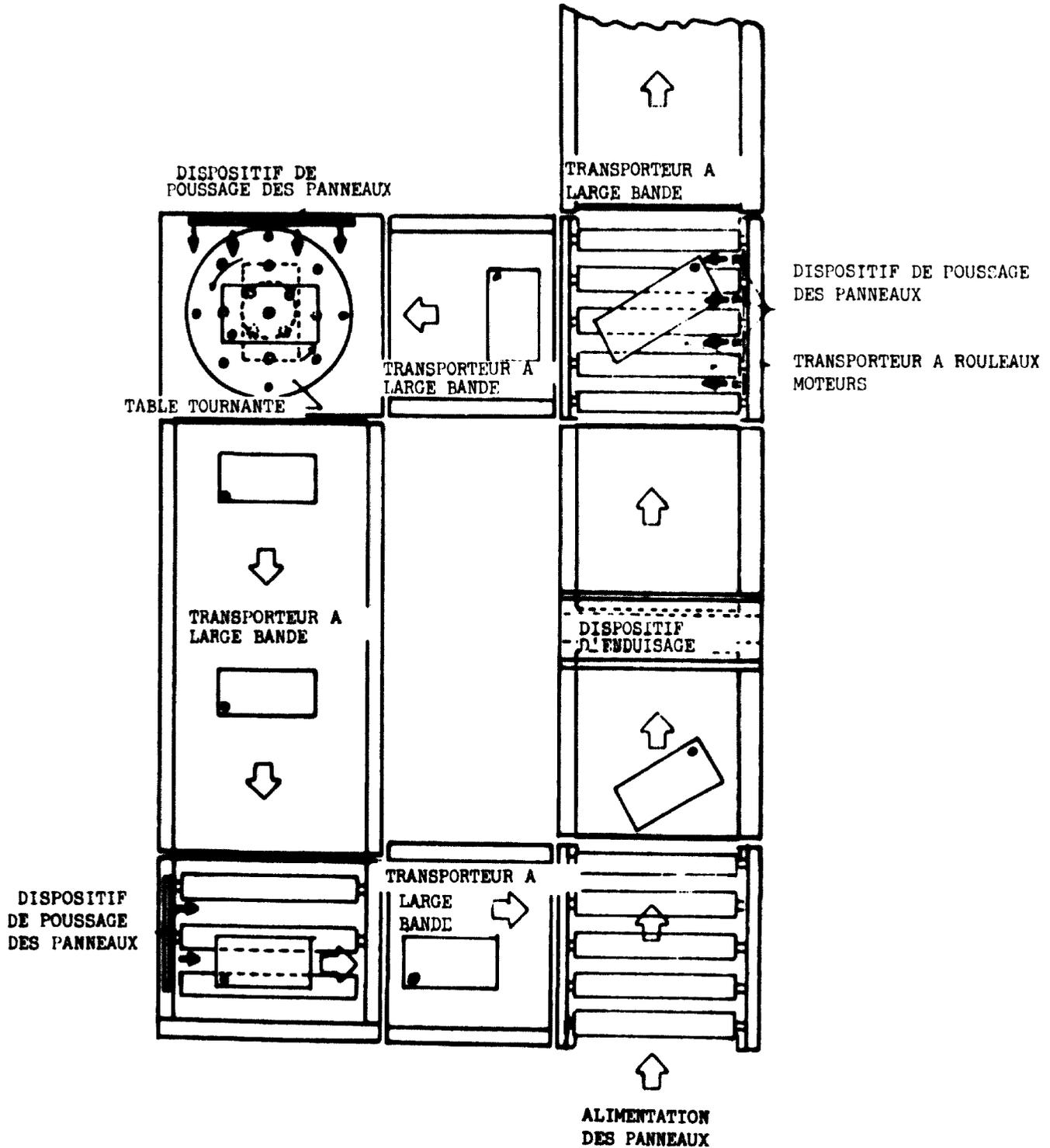
Une partie du produit de scellement peut donner lieu à des protubérances sur la surface de bois et un léger ponçage est donc nécessaire pour éliminer ces protubérances. Cette opération s'effectue de préférence manuellement.

#### Application de la couche de finition

La couche de finition est appliquée normalement aussi par pulvérisation. Les méthodes et dispositifs recommandés dans le paragraphe relatif à l'opération de scellement sont également applicables à cette opération.

Figure 106

Transporteur pour ramener les panneaux,  
opération d'enduisage



### Polissage final de la surface

Le polissage permet d'améliorer le brillant des surfaces finies. Une machine à buffler portable, actionnée par air comprimé ou par moteur électrique et pourvue d'un disque rotatif coiffé d'un bonnet en laine d'agneau, est utilisée de préférence pour les meubles assemblés. Toutefois, lorsque la fabrication implique la finition des panneaux avant leur assemblage, une machine à buffler de grande capacité est généralement utilisée pour polir les surfaces des panneaux. Cette machine est équipée d'une tête cylindrique qui tourne sur son axe à une vitesse prédéterminée. La tête rotative est pourvue d'un tampon en laine fine qui polit la surface du panneau. Dans d'autres modèles, la tête rotative est équipée de bandes de laine fine serrées étroitement l'une contre l'autre au lieu d'une seule pièce enveloppant le cylindre de bufflage. La surface du panneau est mise en contact avec le matériau de bufflage par une plate-forme qui est élevée ou abaissée manuellement. Dans certains modèles, un interrupteur de fin de course est installé de façon à empêcher la plate-forme de dépasser un certain point quand elle s'approche de la tête de bufflage. Ce dispositif contribue à éviter le brûlage de la surface finie par suite de surchauffe.

L'ACM peut être appliquée à cette opération quand on utilise des machines de bufflage de grande capacité. On peut installer un dispositif qui fera monter automatiquement la plate-forme de bufflage jusqu'au niveau désiré, qui fera avancer le panneau jusqu'à ce que le bord arrière soit poli et qui maintiendra le contact entre la tête de bufflage rotative et la surface du panneau pendant une période prédéterminée et, enfin, qui abaissera la plate-forme de bufflage. Le chargement et le déchargement de la plate-forme peuvent également être automatisés (voir figure 107).

### F. Applications possibles de l'automatisation à coût modéré à la manutention et au transport des matériaux à mettre en oeuvre

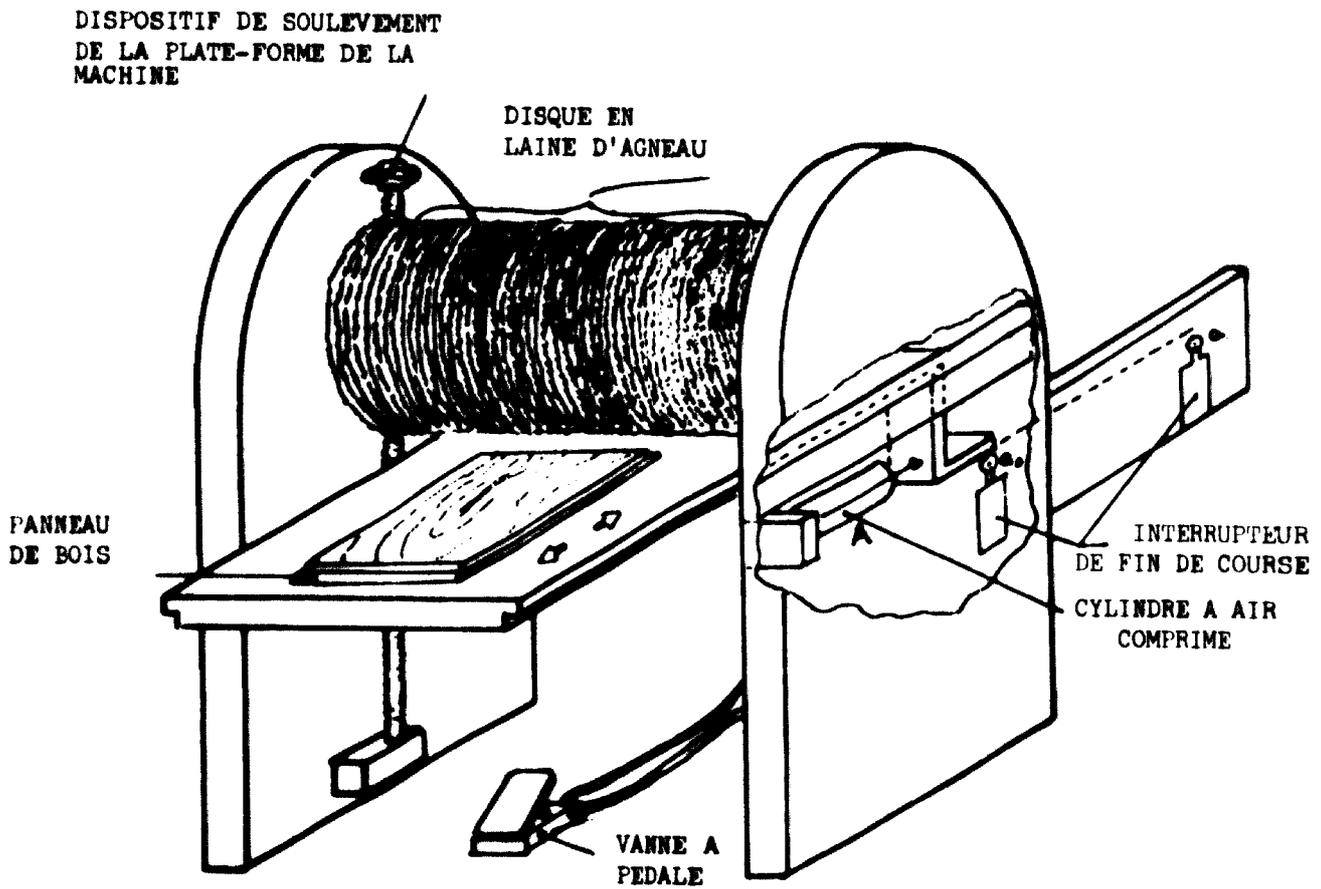
Les exposés ci-dessus ont souvent démontré que les opérations de fabrication de meubles à base de panneaux peuvent être automatisées avec succès si le dispositif de manutention et de transport des matériaux à mettre en oeuvre est bien approprié. Le manque de place empêche de donner ici une discussion détaillée des dispositifs de manutention et de transport qui peuvent être mis au point pour chacune des opérations faisant l'objet de cette monographie. Toutefois, les paragraphes suivants présentent quelques exemples de dispositifs de ce genre, à titre d'illustration, dans l'espoir que le lecteur sera incité à utiliser de tels dispositifs dans la mesure du possible pour ses propres opérations de production.

La conception d'un système de manutention et de transport pour les matériaux à mettre en oeuvre doit tenir compte des considérations suivantes :

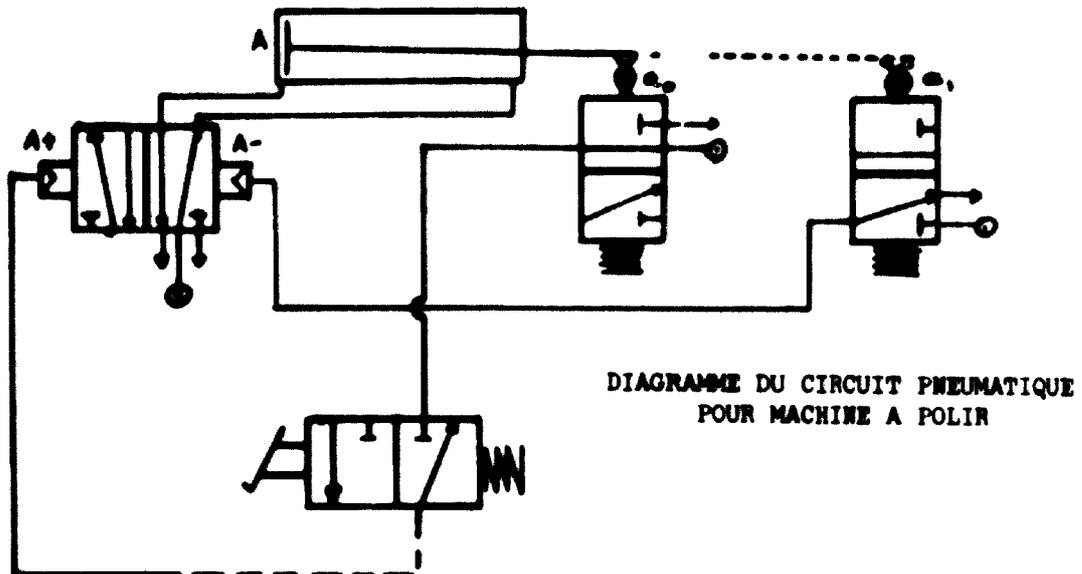
- a) Le transport des matériaux ou des constituants de produits d'un poste de travail à un autre doit s'effectuer rapidement et en toute sécurité;
- b) La quantité à transporter doit être suffisante pour assurer la continuité du travail au poste suivant;
- c) Le coût de la fabrication de l'installation et de l'utilisation des dispositifs de manutention et de transport se justifie par les bénéfices provenant de leur utilisation.

Figure 107

Machine automatique à buffler



MACHINE DE GRANDE CAPACITE  
POUR POLIR LES PANNEAUX



### Techniques et dispositifs pour l'alimentation des machines

M. Koch et F. Lestouvka ont suggéré un certain nombre de techniques et de dispositifs pour l'alimentation des machines en recourant à des dispositifs d'alimentation à trémie commandés par des systèmes ACM et applicables à des éléments en bois massif ou en panneaux. Les figures 108 et 111 donnent des diagrammes schématiques de dispositifs d'alimentation à trémie de ce genre.

#### Transport des panneaux

Certaines situations nécessitent le retournement à 90° ou 180° des panneaux transportés sur un transporteur à rouleaux. La figure 112 représente un dispositif de ce genre, installé dans un système de transporteur.

#### Autres dispositifs

Les dispositifs de maintien et de fixation des pièces donnent souvent de meilleurs résultats si des serre-joints à genouillère, des serre-joints pneumatiques, des serre-joints à excentriques, etc., sont mis en oeuvre, en particulier dans le cas des opérations où des vibrations de la pièce nuiraient à la qualité de l'usinage. Certains de ces dispositifs de fixation sont représentés à la figure 113. Il convient de noter que chaque type de dispositif de fixation présente son domaine d'utilisation propre.

Figure 108

Systèmes d'alimentation à trémie

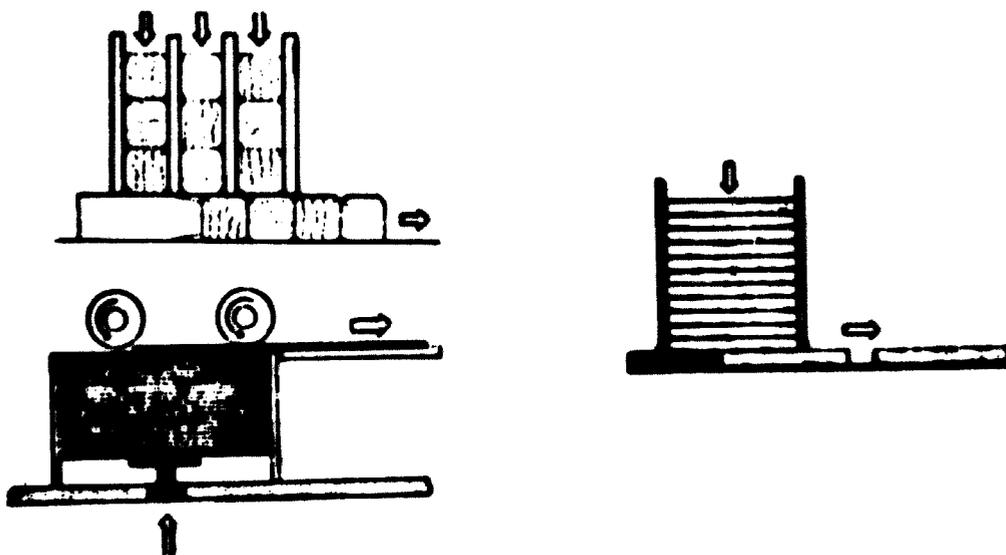


Figure 109

Empilage dans trémie avec éjecteur pneumatique

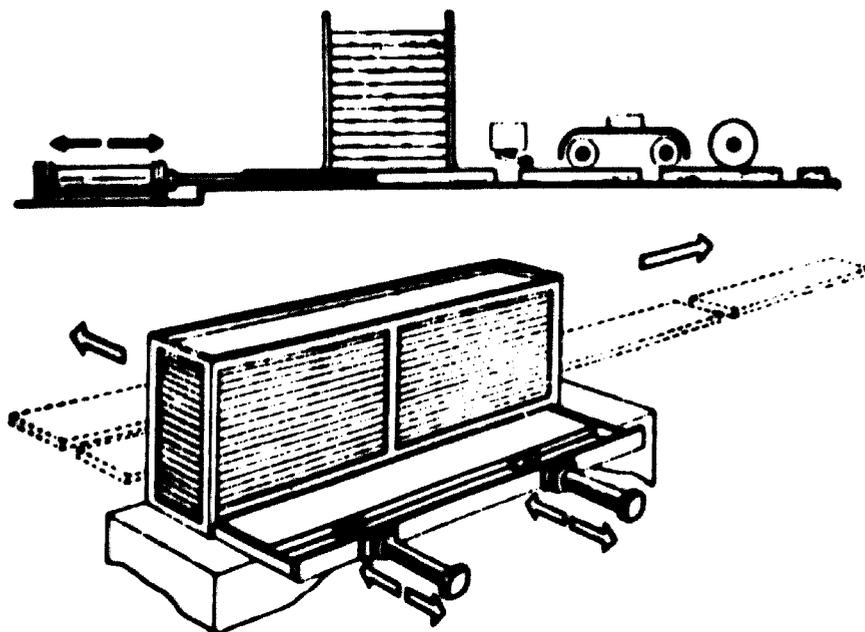


Figure 110

Dispositifs à trémie  
avec empilages multiples

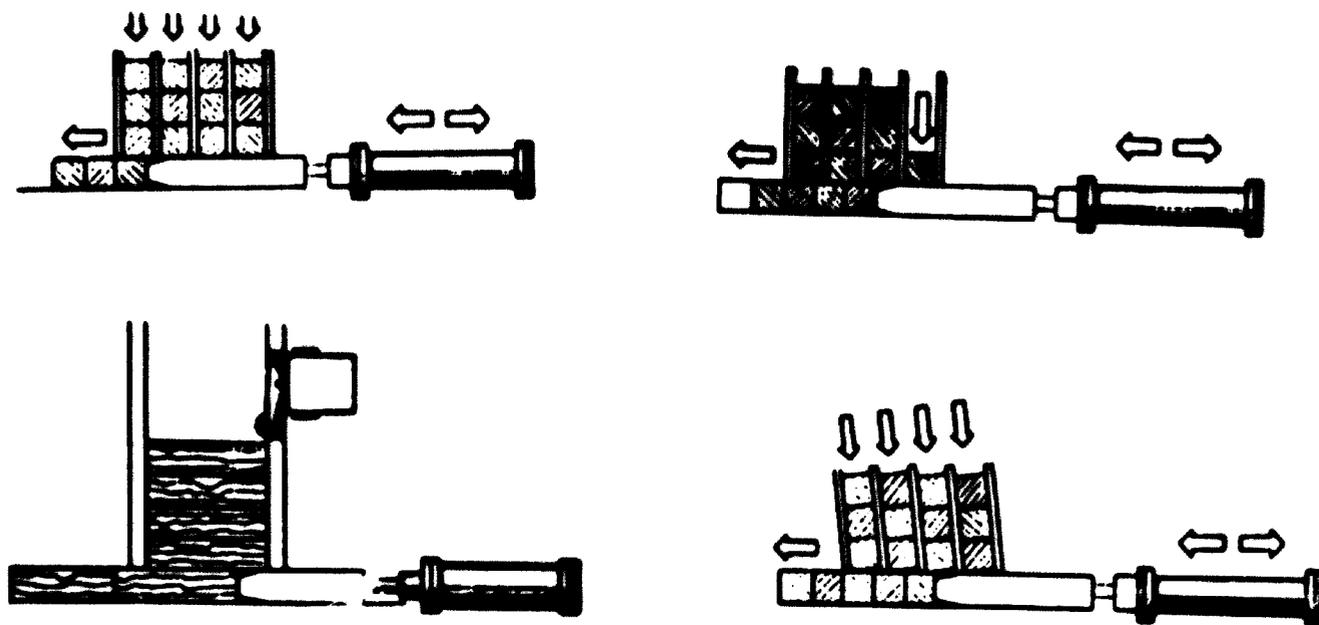
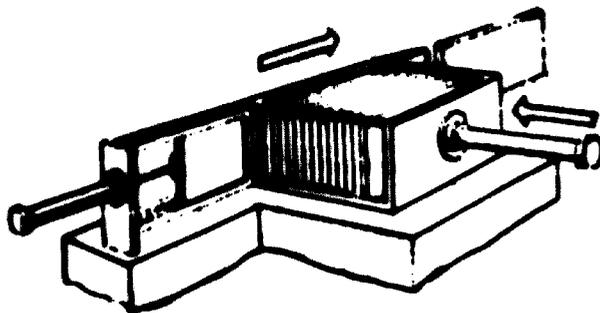
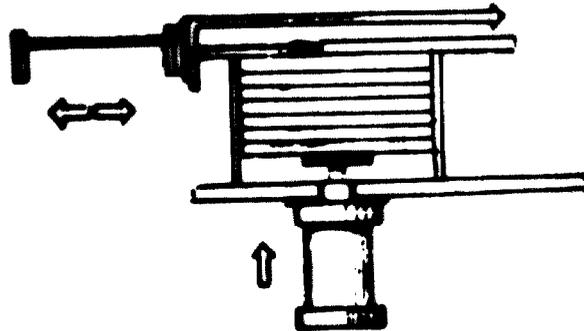
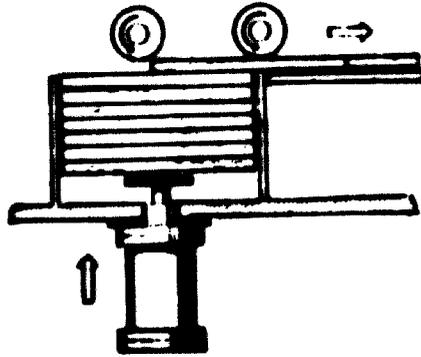


Figure 111

Dispositifs d'alimentation  
pour panneaux



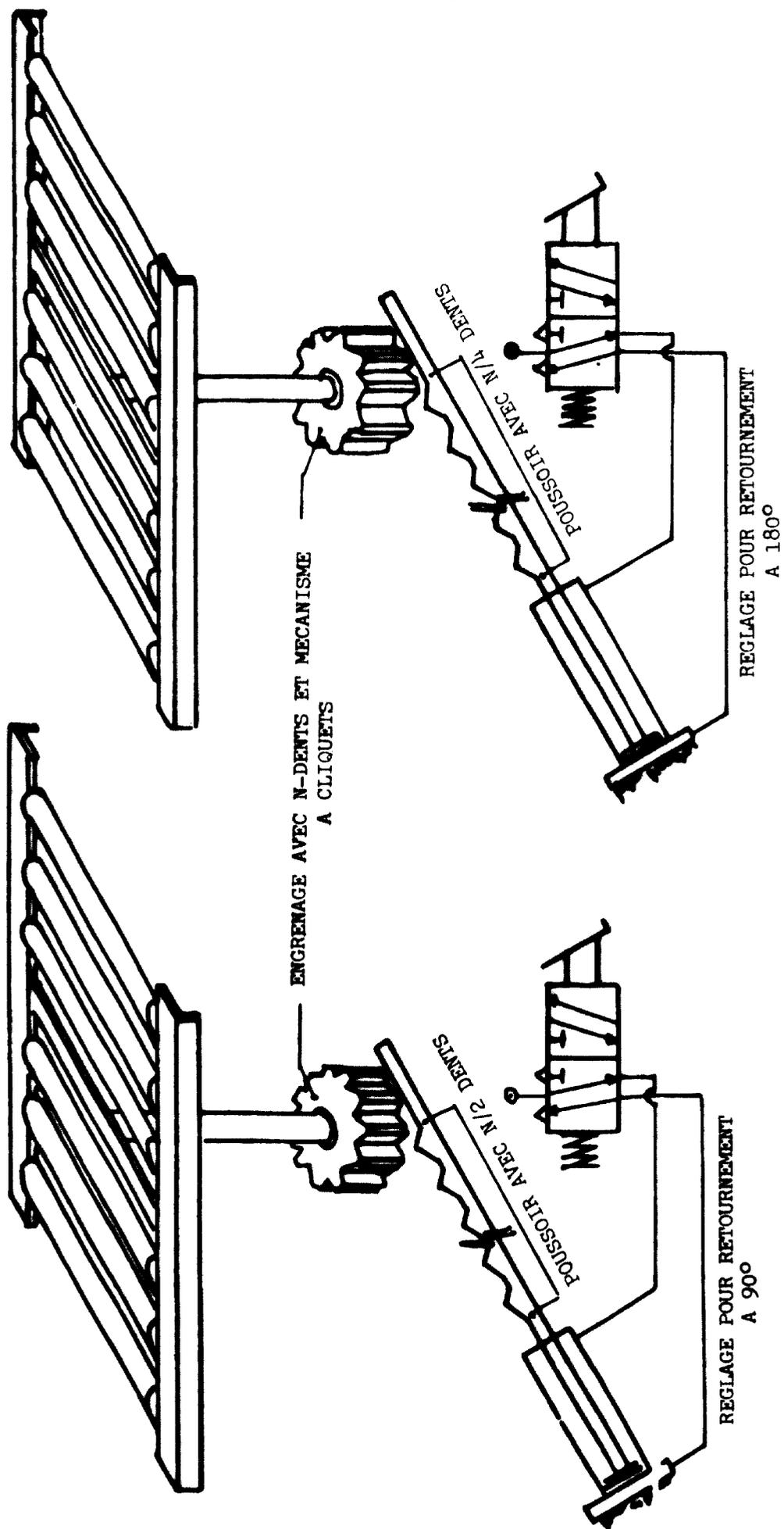
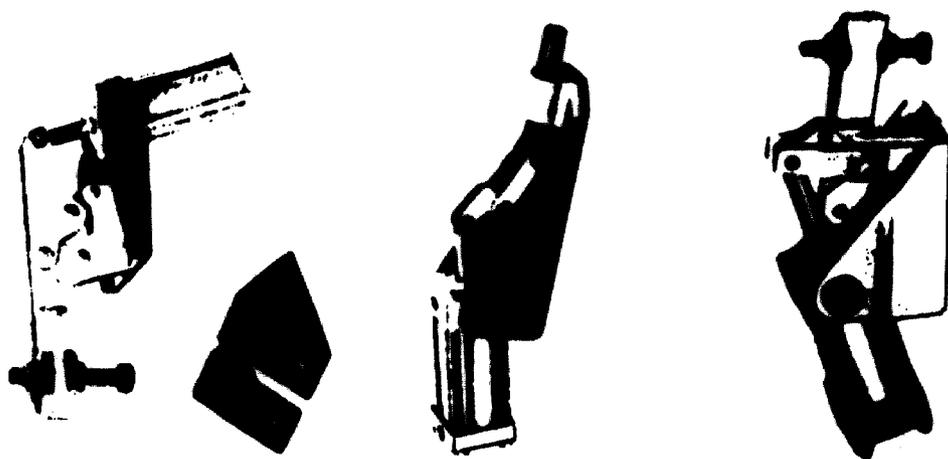
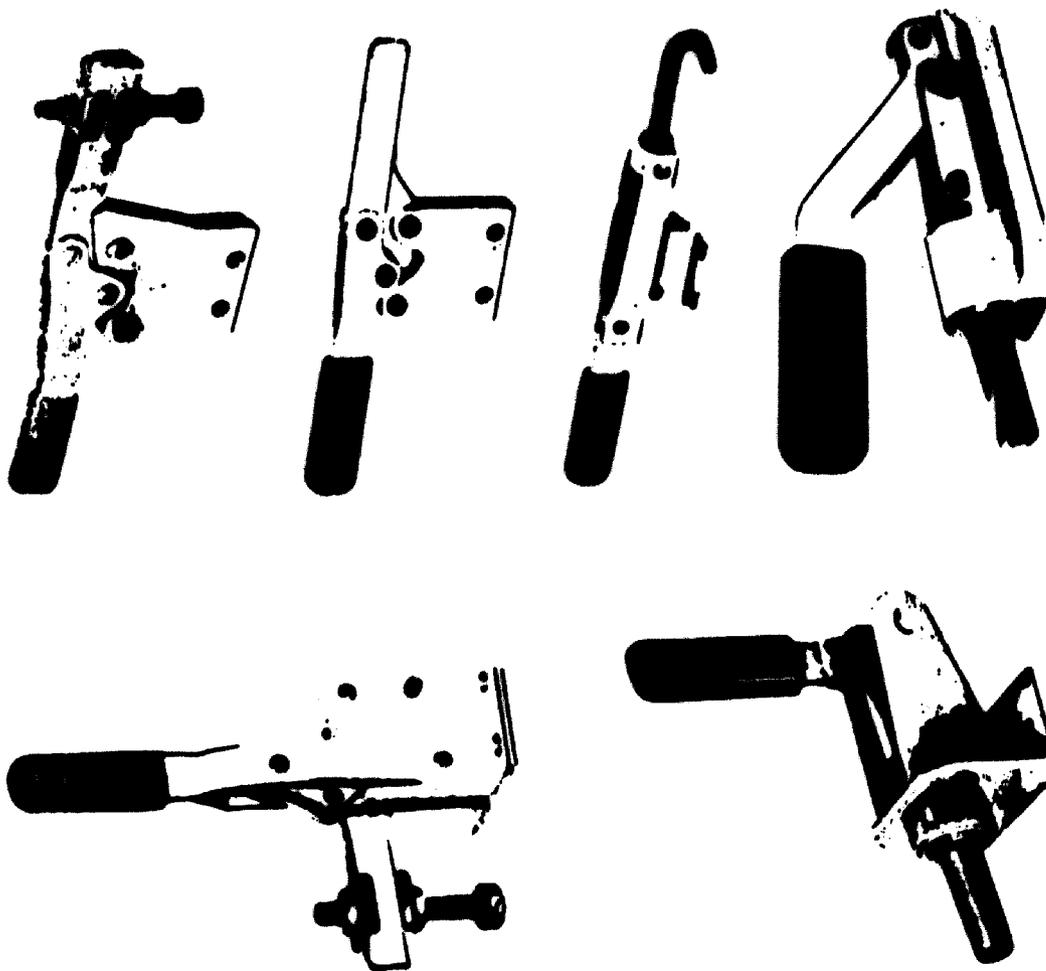


Figure 112

Dispositifs pour le retournement des panneaux à 90° ou à 180°



SERRE-JOINTS  
PNEUMATIQUES



SERRE-JOINTS MECANIQUES  
A GEMOILLERE

Figure 113

Exemples de dispositifs de fixation

VIII. QUELQUES PROBLEMES DE FABRICATION DE MEUBLES A BASE  
DE PANNEAUX ET LEUR SOLUTION PAR L'AUTOMATION  
A COUT MODERE

Certains exemples de problèmes qui se rencontrent dans les usines de meubles à base de panneaux qui sont d'importance moyenne sont décrits ci-dessous dans l'espoir que le lecteur pourra se faire une idée de la façon dont l'ACM peut l'aider à résoudre ses problèmes de fabrication et afin de servir également de guide dans les cas où une décision doit être prise quant à savoir s'il faut ou non automatiser.

A. Le cas de l'enlèvement de découpes  
dans les panneaux

Cas

Une usine d'armoires à base de panneaux produisant 400 unités par semaine a l'intention de doubler sa production en 24 mois dans les conditions suivantes :

a) La surface de sol de l'usine, après augmentation de la production, devrait être réduite d'un tiers afin de fournir de la place pour une autre ligne de fabrication à mettre en marche;

b) Le personnel doit encore travailler à raison d'une équipe de 8 heures par jour ouvrable mais seulement à raison de cinq jours ouvrables par semaine au lieu des six jours de travail par semaine en vigueur jusqu'à présent.

En résumé, pour atteindre l'objectif de production proposé, la capacité devrait être augmentée de 140 %. Parmi les goulets d'étranglement potentiels envisagés, il y avait l'enlèvement des découpes dans la section d'usinage des panneaux. Deux rainureuses de grande capacité étaient disponibles, toutes deux avec alimentation manuelle et du type à tête fixe et à table levante. La charge de travail de rainurage habituelle pour les deux machines atteignait environ 80 % du temps de machine disponible, à l'exclusion du temps de réglage de la machine. Une étude complémentaire a indiqué que 90 % du temps de rainurage était consacré à faire des découpes dans deux des constituants à panneaux de l'armoire.

Problème

Le problème consistait à savoir comment réaliser l'augmentation requise de production tout en satisfaisant encore aux contraintes essentielles d'espace au sol disponible et du nombre d'heures de travail par semaine.

Variantes à envisager

Les variantes suivantes ont pu être envisagées :

a) Remplacement des deux rainureuses par deux modèles plus perfectionnés, comportant des dispositifs d'usinage à commande automatique. Il faudrait environ six mois pour les mettre en état de marche, à partir de la date de commande des machines. Cette variante augmenterait la capacité de rainurage jusqu'à 300 % de la capacité actuelle et coûterait 18 000 dollars, y compris les frais d'installation et de mise au point.

b) Maintien des rainureuses en les faisant fonctionner à trois équipes. Cette variante nécessiterait quatre ouvriers de machine supplémentaire, quatre techniciens d'entretien supplémentaires (deux électriciens et deux mécaniciens) et deux contremaîtres. En outre, le groupe électrogène Diesel devrait fonctionner 24 heures par jour.

c) Remplacement de la table d'acier des rainureuses existantes par des dispositifs de rainurage pourvus d'un système ACM approprié, capables de déplacer la pièce pour obtenir les découpes requises dans les panneaux tout en permettant l'exécution d'autres travaux de rainurage, en simplifiant le chargement et le déchargement des dispositifs de rainurage grâce à des dispositifs de serrage pneumatiques à commande automatique et au placement correct de la pièce par rapport à l'outil de la rainureuse. Cette variante était prévue pour permettre une augmentation de la capacité de production de 175 %; le nombre d'ouvriers nécessaires restait inchangé et le coût approximatif était de 10 000 dollars, y compris la fabrication, l'installation et la mise au point.

#### Analyse de la valeur des variantes

La variante b) a été rejetée d'emblée parce qu'elle n'était pas conforme aux exigences relatives à l'horaire de travail imposé par la direction. Les variantes a) et c) ont fait l'objet de l'évaluation suivante :

a) Les deux variantes demanderaient le même nombre d'ouvriers et le même niveau de qualification pour les ouvriers;

b) Dans le cas de la variante a), les rainureuses devraient être modifiées à certains points de vue afin de leur permettre d'effectuer d'autres travaux, outre le découpage dans les panneaux;

c) La consommation d'électricité et d'air comprimé des machines serait à peu près la même avec les deux variantes;

d) Le travail de transformation, dans le cas de la variante c) demanderait des matériaux disponibles sur place. Quelques constituants de l'ACM seulement devraient être importés par les représentants locaux de la société productrice;

e) Les problèmes d'entretien des machines seraient sensiblement les mêmes pour les deux variantes;

f) Les rainureuses existantes pourraient être vendues à 2 750 dollars chacune, y compris les convertisseurs de fréquence;

g) Les deux variantes satisfont aux exigences d'augmentation de production imposées.

La comparaison des coûts entre les deux options a été la suivante (en dollars) :

<u>Eléments</u>	<u>Variante a)</u>	<u>Variante c)</u>
Valeur comptable des machines existantes		4 500
Coût d'achat et d'installation des machines	18 000	
Coût de transformation des machines	750	<u>9 000</u>
Coût total	<u>18 750</u>	13 500
Moins : valeur de revente des machines existantes	<u>5 500</u>	<u>          </u>
Coût net	13 250	13 500

Des considérations purement économiques indiquent que la variante a) pourrait être plus avantageuse. Le fait que les capacités des machines avec la variante a) dépassent les exigences d'augmentation de 60 %, alors que celles relatives à la variante c) donnent lieu à un excès moindre de 35 % seulement, ne présente pas un grand intérêt puisque les deux excédents de capacité dépassent de loin ce qui est exigé des machines.

La direction a effectué alors une enquête afin de savoir si la qualification du personnel d'atelier et si les facilités disponibles dans l'atelier d'entretien pouvaient suffire pour effectuer le travail de transformation des rainureuses sans effet négatif sur la production courante. La conclusion fut que le travail pouvait être effectué d'une manière satisfaisante dans l'atelier de mécanique de la société en respectant le programme de transformation des deux machines-outils.

#### Décision de la direction

Compte tenu de toutes les données et constatations disponibles soumises par le Comité d'études, la direction a décidé de transformer les rainureuses par automatisation suivant la variante c). Le léger avantage (250 dollars) de la variante a) a été considéré comme trop faible par rapport au gain d'expérience dont profitera le personnel de la société en effectuant l'automatisation des vieilles machines.

Il convient de noter que la direction ne s'est même pas souciée de vérifier si le coût du projet restait dans le cadre du niveau des investissements maximums autorisés, simplement parce qu'il n'y avait pas besoin d'espace de travail supplémentaire pour les rainureuses.

Le système ACM adopté pour la conversion des rainureuses est représenté aux figures 114, 115 et 116.

#### B. Le cas de la ponceuse spéciale pour panneaux

##### Cas

Une usine produisant des armoires à base de panneaux rencontrait des difficultés avec le ponçage final des panneaux de dessus. Le taux journalier des panneaux rebutés par suite de ponçage à travers le placage atteignait une moyenne de 6 % depuis le début des opérations. Toutefois, ce pourcentage

augmentait à certains moments jusqu'à 12 %. Six ouvriers avaient déjà été formés pour le travail de ponçage qui leur avait été attribué mais la direction estimait néanmoins que le taux moyen de 6 % de rebut devenait inadmissible, compte tenu des coûts croissants des matières premières et de la main-d'oeuvre. Le ponçage final s'effectuait sur une ponceuse alternative à double bande, utilisant d'abord une bande de ponçage à émeri 180 puis une bande à émeri 240.

### Problème

Le problème consistait à améliorer le travail final de ponçage en réduisant d'une manière significative le taux des rebuts ou, si possible, en supprimant totalement ces rebuts.

### Analyse du problème

Les pertes de la société, par suite de l'enlèvement par ponçage du placage, ont été estimées à 6 093 dollars par an.

Une vérification de la qualité du travail des six ouvriers affectés à la ponceuse alternative n'a pas permis de déceler des différences notables entre les taux de rebuts individuels. Tous les rebuts étaient imputables à l'arrachement du placage par ponçage excessif sur les bords des panneaux.

La première passe de ponçage a été tentée avec une bande de ponçage avec émeri 200 et la seconde avec une bande émeri 280. La production a diminué jusqu'à 75 % du niveau normal pour ce travail, tandis que le taux de rebut était réduit à 4 %. Ce résultat était encore inacceptable pour la direction.

Une analyse complète des opérations de ponçage alternatif a indiqué que 90 % des rebuts se produisaient pendant les périodes suivantes du cycle de travail journalier des opérateurs de machines :

- La première demi-heure de la journée du travail;
- La première demi-heure après chaque période d'interruption;
- La demi-heure avant la fin de l'équipe de travail.

Ces constatations indiquaient clairement que :

a) Il fallait environ une demi-heure à l'ouvrier pour retrouver son habileté à appliquer la pression correcte sur le tampon de ponçage après toute période de repos;

b) La fatigue du travail au cours de la dernière demi-heure de l'équipe de travail faisait perdre son doigté à l'ouvrier.

Le département de "Technique industrielle" recommanda l'achat ou la fabrication d'une machine à poncer les panneaux capable d'appliquer une pression uniforme de la bande de ponçage sur la surface du panneau, quel que soit l'état physique ou mental de l'opérateur de la machine.

### Variantes disponibles

Les variantes suivantes se sont avérées disponibles :

a) Importation, installation et mise en service d'une ponceuse à double bande large, avec mécanisme d'alimentation et la commande requise de la pression sur la bande de ponçage, pour un coût total de 9 500 dollars;

b) La conception et la fabrication d'une machine de ponçage spécial dans l'atelier de mécanique de la société, pour un prix total de 9 750 dollars, y compris la mise en service;

c) La conception de la machine par le département technique de la société, la fabrication étant confiée à un atelier de la région et l'installation étant faite par le personnel de la société, pour un coût total de 9 500 dollars, y compris la mise en service.

### Analyse de la valeur

La variante a) demanderait six mois à partir de la date de passation de commande pour une ponceuse à large bande jusqu'à la mise en service, ce qui correspond à une perte supplémentaire de 3 046 dollars avant que le problème du ponçage excessif des placages ne soit résolu. La machine demanderait également un ouvrier supplémentaire à l'extrémité d'évacuation des panneaux. Toutefois, une qualification moindre serait requise de la part de l'ouvrier alimentant la machine. La machine était supposée capable de résoudre entièrement le problème du ponçage excessif. D'autre part, la capacité de ponçage serait augmentée de 300 %.

Les deux variantes b) et c) demanderaient 60 jours avant d'être opérationnelles et elles étaient supposées capables de réduire le taux de rebut en-dessous de 1 %, tous ces rebuts ne nécessitant d'ailleurs que des réparations peu importantes. Un seul ouvrier était nécessaire pour la machine dans chacune de ces deux variantes. La capacité de ponçage devrait subir une augmentation de 50 %. Le niveau de qualification requis pour l'opérateur de la machine était de deux degrés en-dessous de celui de l'opérateur actuel.

La comparaison des coûts entre les variantes a donné les résultats suivants (dollars) :

<u>Eléments</u>	<u>Variante a)</u>	<u>Variante b)</u>	<u>Variante c)</u>
Coûts (calculés pour une période d'amortissement de cinq ans)			
Achat et installation de la machine	9 500	9 750	9 300
Main-d'oeuvre	6 200	3 100	3 100
Bande de ponçage	9 500	6 500	6 500
Air comprimé et électricité	4 500	2 700	2 700
Autres fournitures d'entretien	<u>3 200</u>	<u>2 850</u>	<u>2 850</u>
Coût total en cinq ans	32 900	24 900	24 900

<u>Eléments</u>	<u>Variante a)</u>	<u>Variante b)</u>	<u>Variante c)</u>
<b>Bénéfices</b>			
Economies annuelles sur les réparations et les pertes provoquées par les rebuts	6 093	5 077	5 077
Valeur totale des économies en matériaux sur cinq ans	30 465	25 385	25 385

Période d'amortissement

Pour s'assurer si les propositions faites satisfaisaient aux principes de la société, exigeant une période d'amortissement non supérieure à deux ans pour des projets de ce genre, les périodes d'amortissement suivantes ont été obtenues :

<u>Variantes</u>	<u>Période d'amortissement (mois)</u>
a)	19
b)	23
c)	23

Investissement maximum admissible pour le projet

L'investissement maximum admissible pour le projet a été calculé au moyen de la formule du chapitre III, section A, en utilisant les valeurs suivantes pour les variables :

$i = 14\%$  par an;  $n = 5$  ans;  $N = 310$  jours ouvrables par an x 8 heures par jour = 2 480 heures par an;  $Q_1 = 23$  panneaux par heure;  $Q_2 = 25$  panneaux par heure;  $m = 0,30$  dollar par heure;  $w = 0,30$  dollar par heure;  $p = 35\%$ ;  $V_1 = 0,97$  dollar par heure et  $V_2 = 0,83$  dollar par heure. Le résultat a été  $I = 17\ 000$  dollars.

L'investissement réel net était égal au coût du projet moins la valeur de revente de la ponceuse alternative, c'est-à-dire (en dollars) :

<u>Variantes</u>			
a)	9 500	4 800	4 700
b)	9 750	4 800	4 950
c)	9 300	4 800	4 500

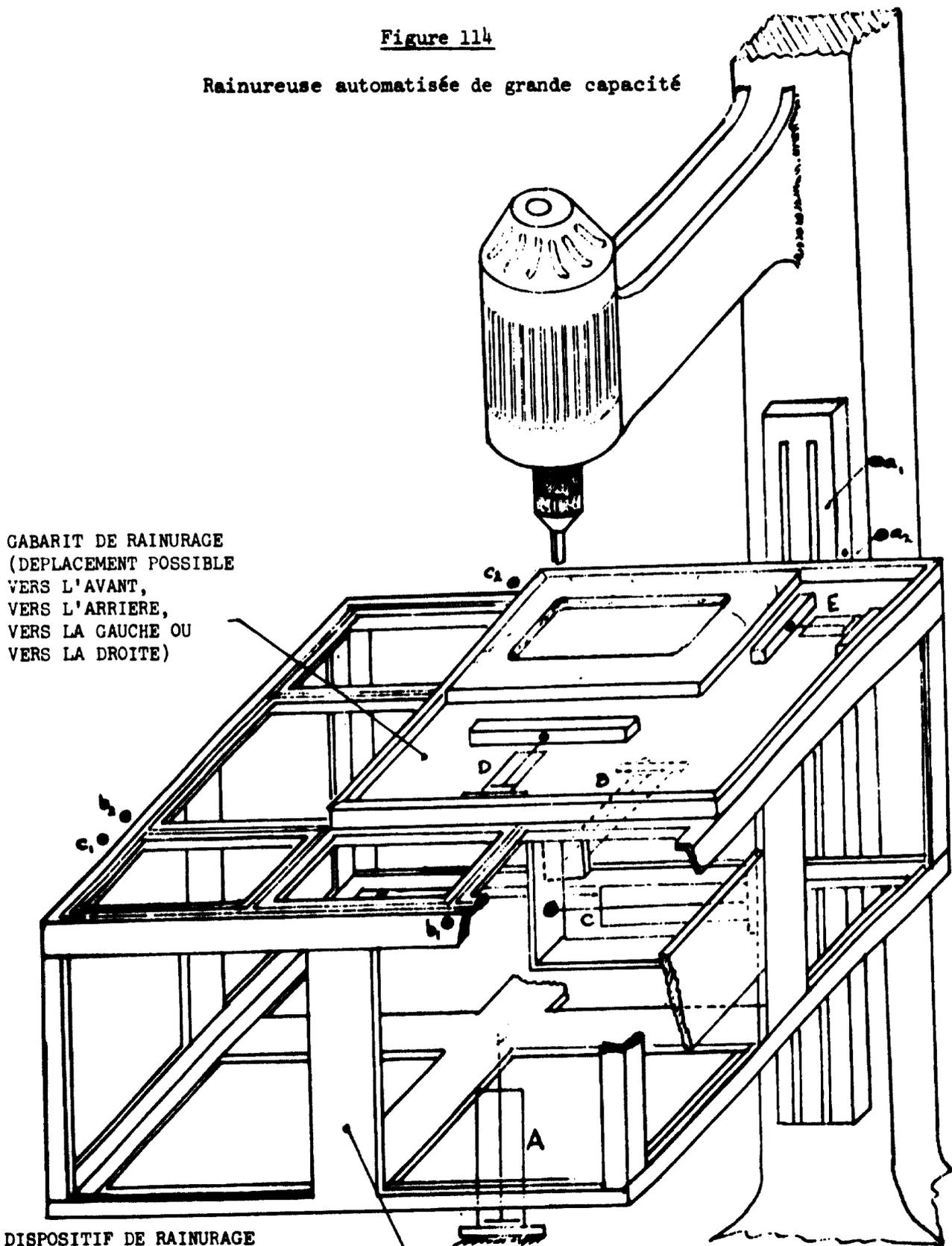
Il en résulte que les trois variantes se trouvaient bien en deçà du montant maximum des investissements admissibles pour le projet.

Décision de la direction

En réponse à une demande de la direction à la Banque centrale au sujet des règlements applicables à l'ouverture de lettres de crédit pour l'importation de machines-outils, celle-ci a informé la société qu'un dépôt de 50 % de la valeur comptant des lettres de crédit était exigé. Le coût de l'argent pour la

Figure 114

Rainureuse automatisée de grande capacité



GABARIT DE RAINURAGE  
(DEPLACEMENT POSSIBLE  
VERS L'AVANT,  
VERS L'ARRIERE,  
VERS LA GAUCHE OU  
VERS LA DROITE)

DISPOSITIF DE RAINURAGE  
AVEC ACCESSOIRES POUR LE  
REGLAGE DE LA HAUTEUR

NOTE : LES MARQUES (x) INDIQUENT L'EMPLACEMENT APPROXIMATIF DES INTERRUPTEURS  
DE FIN DE COURSE.

Figure 115

Diagramme pneumatique et diagramme temps/déplacement pour une rainureuse automatique

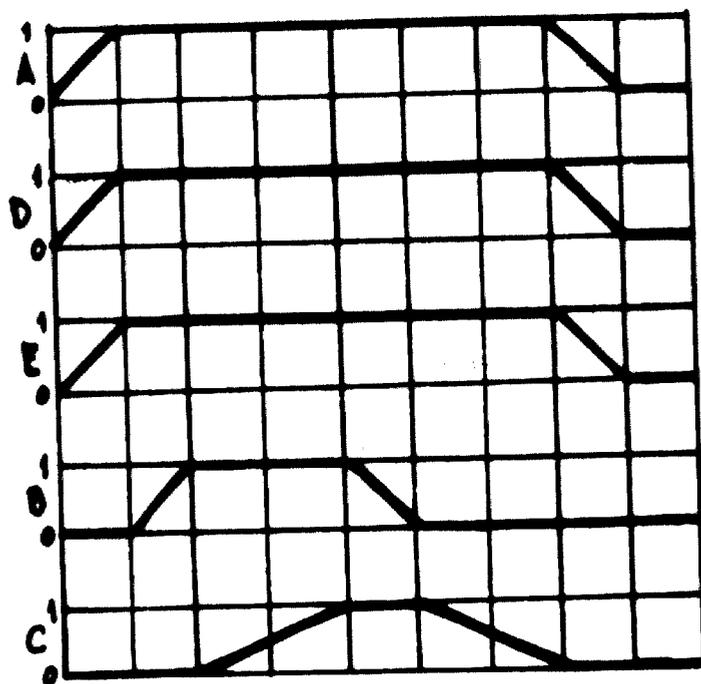
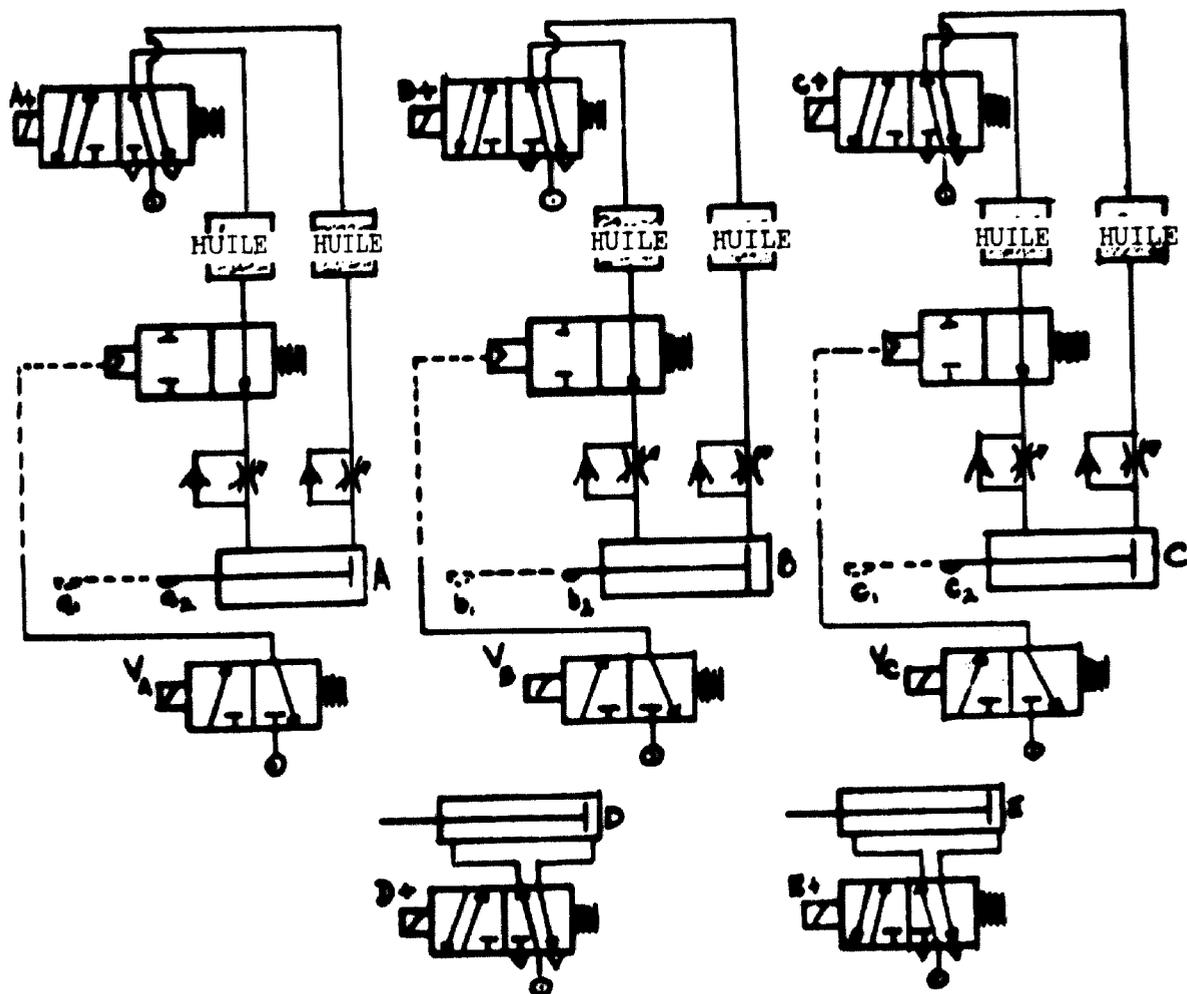
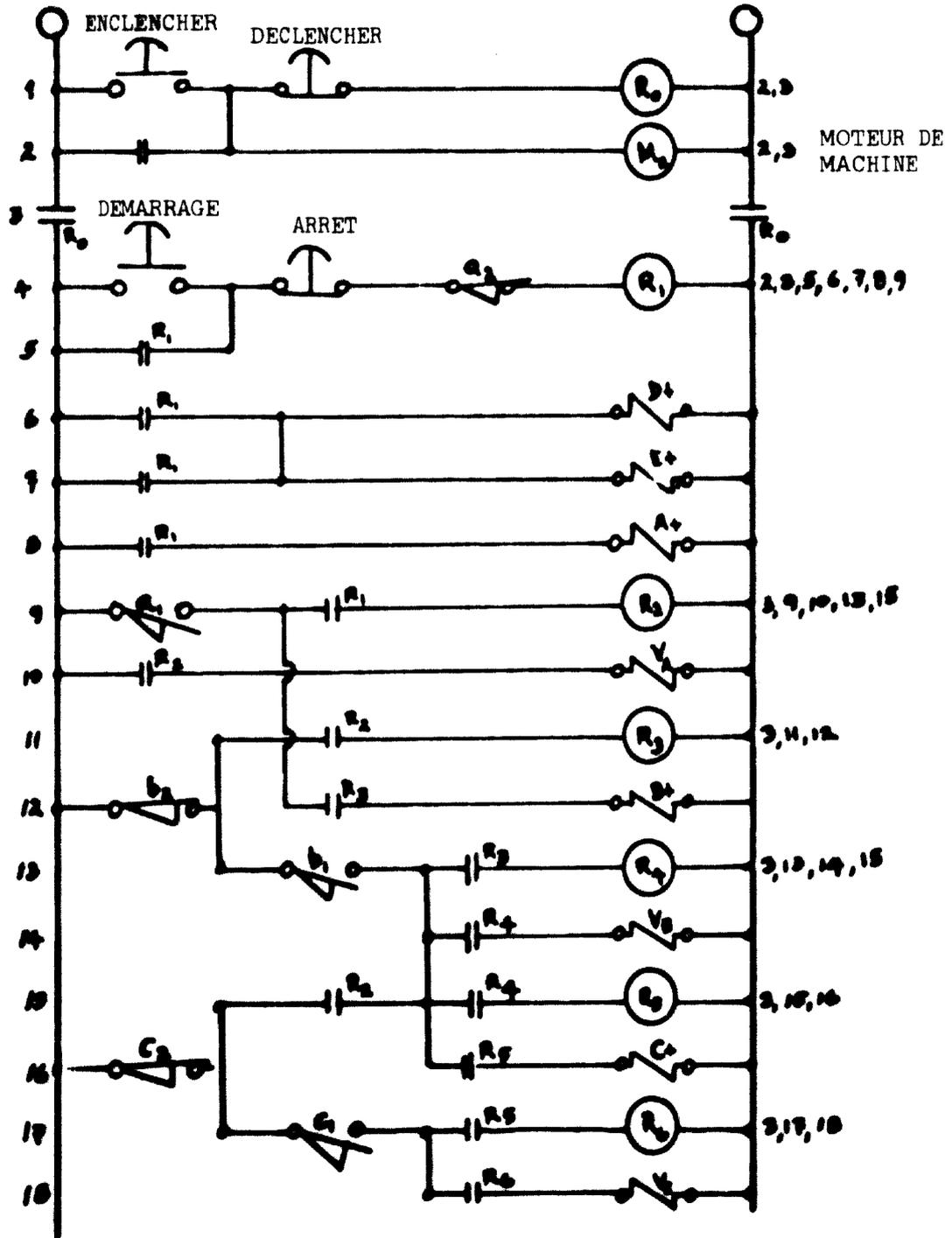


Figure 116

Diagramme des circuits électriques  
d'une rainureuse automatisée



société était d'environ 20 % par an. Par conséquent, en dépit de l'avantage économique apparent de la variante a), résultant de l'exposé ci-dessus, le coût réel du projet pour cette variante devrait être augmenté du coût de l'argent que la société devrait mettre en dépôt pour obtenir la lettre de crédit, l'immobilisation de cette somme pendant une période de six mois coûtant environ 475 dollars. Il en résulte que l'investissement réel pour la variante a) serait de 9 975 dollars. A la suite de cette constatation, la direction a rétréci son choix entre les variantes b) ou c). La différence entre les coûts des projets était de 450 dollars en faveur de l'option c). Toutefois, la direction a pensé que ce faible montant ne justifiait pas la perte d'une excellente occasion pour le personnel technique de la société d'apprendre comment automatiser les machines de l'usine. C'est pourquoi la direction a décidé de faire exécuter la variante b).

Les figures 117 et 118 représentent la solution ACM conforme à la variante b).

### C. Le cas de l'équipe de la ligne de bouchage des pores

#### Cas

La ligne de bouchage des pores du département de finition d'une usine de meubles à base de panneaux avait un personnel de huit hommes, y compris le pulvérisateur de produit. Le rendement était de 120 panneaux par 8 heures, avec une qualité de travail de bouchage acceptable. La direction a insisté pour pouvoir faire fonctionner la ligne de bouchage des pores avec au plus cinq ouvriers, y compris le pulvérisateur de produit, pour autant qu'on puisse mettre au point une méthode permettant d'accélérer la phase de bouchage au tampon dans cette opération. Le département technique a été invité à résoudre immédiatement le problème.

L'opération de bouchage des pores comportait les phases suivantes :

- a) Pulvérisation d'un mélange de produits sur la surface et les bords des panneaux, personnel nécessaire : un ouvrier;
- b) Laisser le solvant du produit s'évaporer, pas de personnel requis;
- c) Tamponnage à la main, personnel requis : trois ouvriers;
- d) Essuyage du produit en excès sur les panneaux bouchés, personnel requis : deux ouveirs;
- e) Inspection des panneaux traités et réparations locales si c'est nécessaire, personnel requis : deux ouvriers.

#### Problème

Le problème consistait à déterminer le goulot d'étranglement dans la ligne de remplissage des pores et de trouver des moyens de l'éliminer.

Figure 117

La solution d'automation à coût modéré au problème du ponçage et le diagramme temps/déplacement correspondant

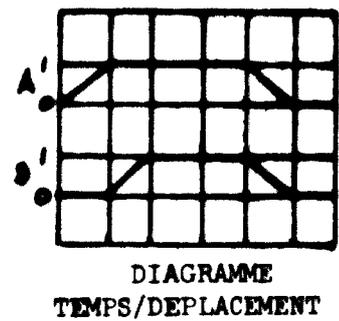
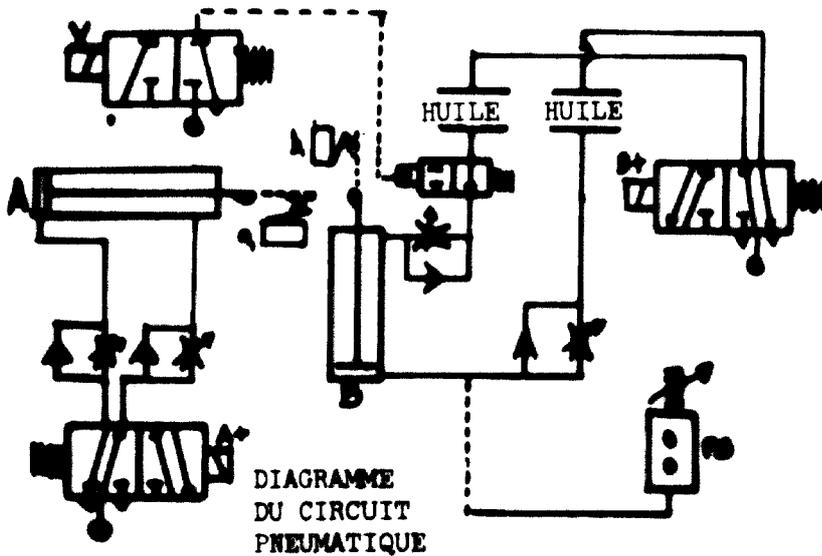
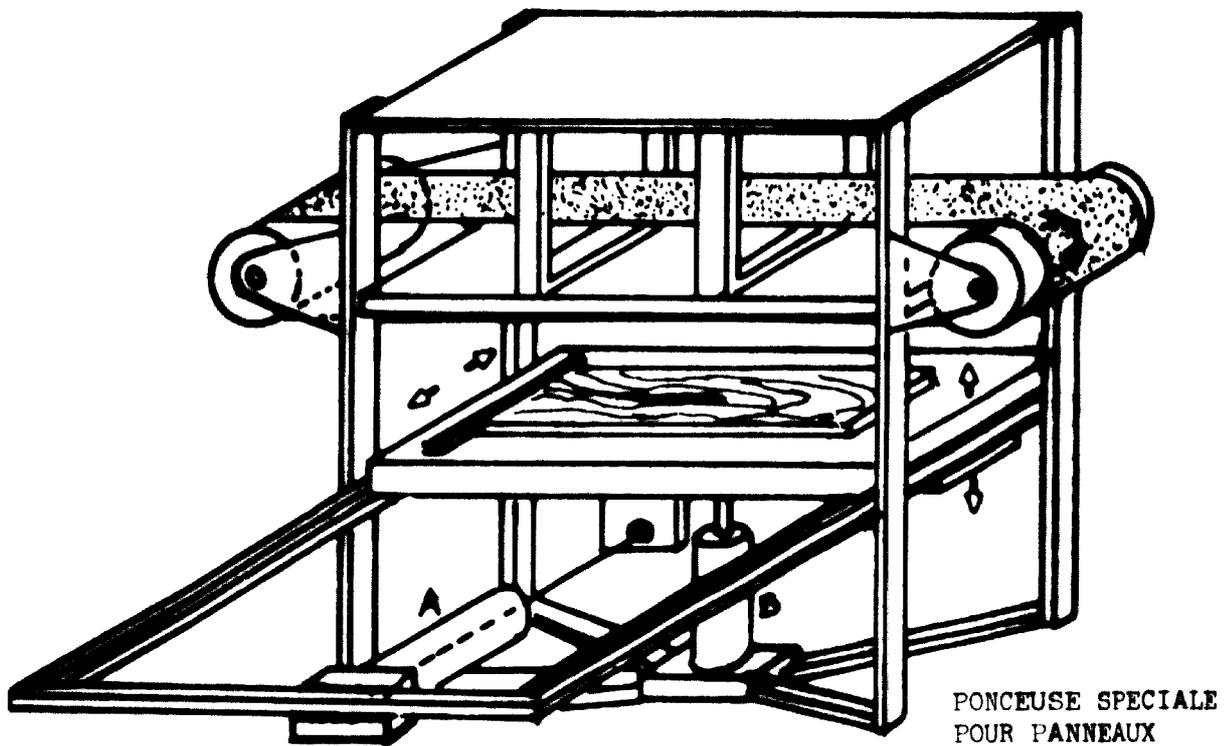
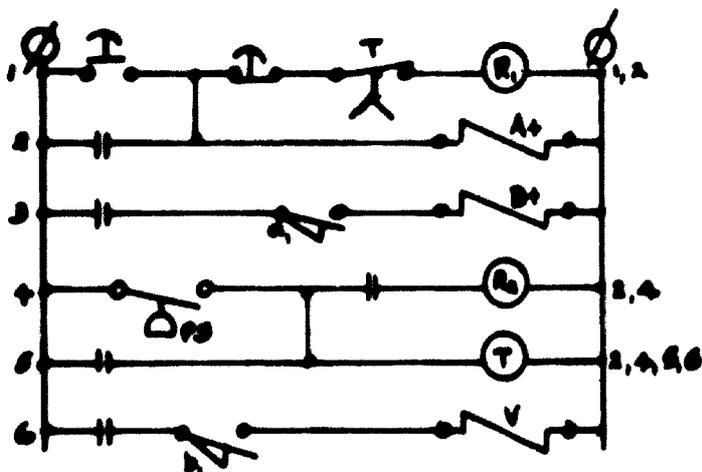


Figure 118

Diagramme du circuit électrique d'une ponceuse spéciale pour panneaux



Analyse technique du problème

La section technique industrielle a effectué une étude des temps et des mouvements des opérations de la ligne et a constaté que les zones à faible rendement étaient les opérations de tamponnage du produit et d'essuyage du produit en excès.

Des expériences ont montré que l'effet d'obturation le plus efficace était obtenu par un mouvement combiné de tamponnage et de cisailage au moyen d'un tampon en feutre demi-dur agissant sur la surface de bois à obturer. L'action de cisaillement engendrée par le mouvement en arc de cercle des mains des ouvriers à travers la surface du panneau était insuffisante pour enfoncer suffisamment les pigments du produit de remplissage dans les pores de la surface du panneau. Par conséquent, la surface du panneau restait couverte d'une quantité de produit en excès qu'il était difficile d'éliminer par essuyage de la surface une fois que ce produit avait commencé à durcir. Dans leurs efforts pour nettoyer convenablement la surface des panneaux, les essuyeurs de produit arrachaient involontairement certaines des particules de produit hors des pores à obturer. Il en résultait qu'environ 40 % des panneaux devaient être renvoyés au pulvérisateur de produit afin d'être traités à nouveau.

Variantes disponibles

Deux variantes se sont avérées possibles :

- a) L'importation d'une machine rotative à tamponner le produit au prix de 450 dollars, y compris les frais d'installation et de mise en service. Cette variante devait pouvoir réduire l'équipe de la ligne de bouchage des pores à cinq ouvriers, tout en augmentant la capacité de production de 30 %;

b) Fabriquer un dispositif de tamponnage portatif, rotatif et actionné par air comprimé, au prix de 480 dollars, y compris les frais d'installation et de mise en service. Cette variante devait être capable de réduire l'équipe de la ligne de bouchage des pores à cinq ouvriers également, tout en augmentant la production de 25 %.

#### Analyse de la valeur

La machine rotative à tamponner le produit qu'il fallait importer aurait été opérationnelle six mois après la date de la commande, alors que la machine fabriquée sur place aurait pu être mise en service dans les 60 jours. La différence de prix était de 30 dollars seulement. La direction ne pouvait pas se permettre d'attendre six mois pour épargner 30 dollars. Les ordres furent donc donnés au département technique pour effectuer la conception et la fabrication de la machine rotative à tamponner le produit de remplissage.

#### Investissement maximum admissible pour le projet

Pour compléter la documentation, le département technique a effectué les calculs de la justification économique de la machine suggérée. L'investissement maximum admissible pour le projet a été calculé par la formule du chapitre III, section A, en utilisant les valeurs suivantes pour les variables :

$i = 14\%$  par an;  $n =$  trois ans;  $N = 310$  jours par an à 8 heures par jour = 2 480 heures par an;  $Q_1 = 15$  panneaux par heure;  $Q_2 = 18,5$  panneaux par heure;  $m = 0$ , car aucune machine n'était utilisée jusqu'à présent;  $w = 0,30$  dollar par heure, le salaire horaire direct moyen de l'équipe de bouchage des pores;  $p = 35\%$ ;  $V_1 = 0,18$  dollar par heure et  $V_2 = 0,26$  dollar par heure. Le résultat a été :  $I = 4,130$  dollars.

Le coût estimé du projet de 480 dollars était donc bien en deçà de l'investissement maximum admissible pour le projet.

#### Période d'amortissement

A nouveau, la période d'amortissement a été calculée pour les archives de la manière suivante (en dollars) :

<u>Coûts (trois ans)</u>	<u>Actuellement</u>	<u>Avec modification</u>
Machine, installée et en service		480
Main-d'oeuvre directe	2 332	1 395
Air et électricité	840	970
Fournitures et pièces de rechange		220
Frais administratifs	<u>1 166</u>	<u>698</u>
Total	4 338	3 763
Economie nette	4 338 - 3 763 = 575 en trois ans, ou 191,67 par an	
Période d'amortissement	<u>480,00</u> = 2,5 ans 191,67	

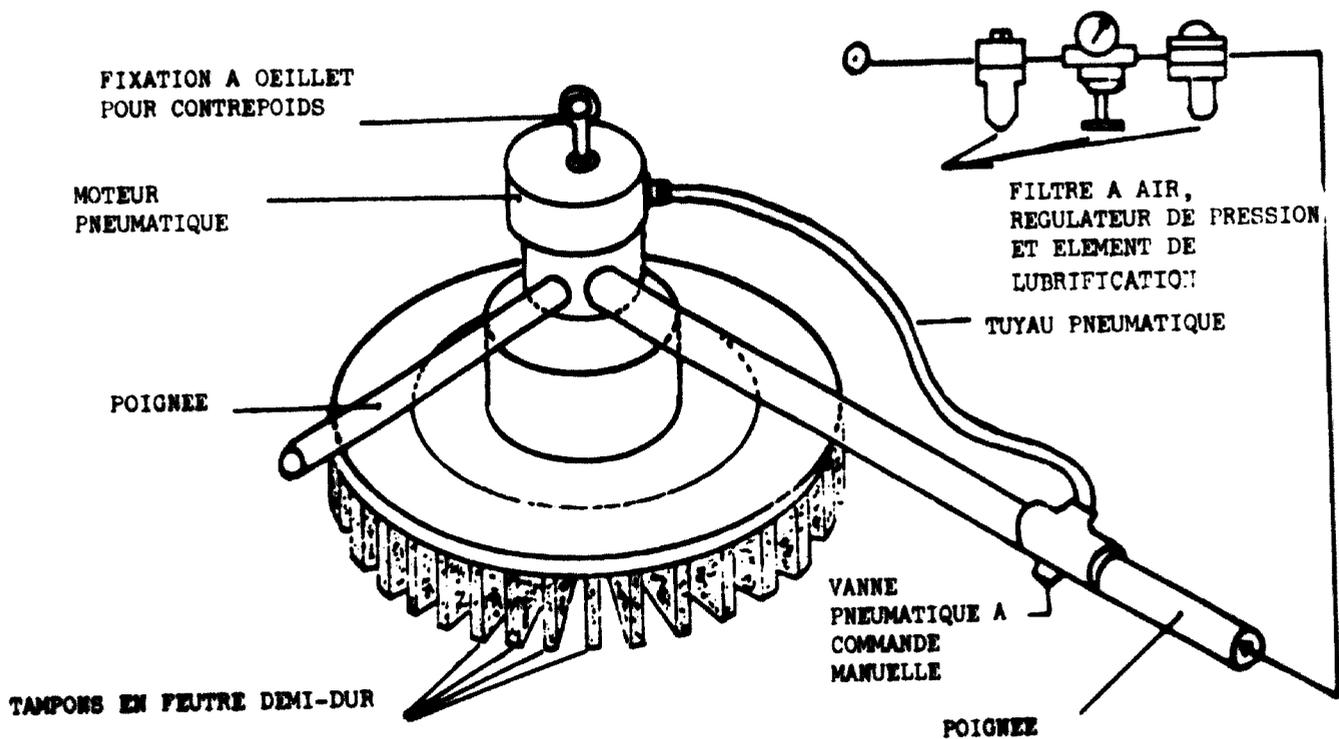
Décision de la direction

La direction a donné plus d'importance à la modicité de l'investissement requis et a annulé le principe de la société imposant une période maximale d'amortissement de deux ans pour ce projet particulier.

Elle a confirmé également sa décision initiale de procéder à la construction de la machine rotative à tamponner. La figure 119 représente la conception de la machine à tamponner et du circuit pneumatique correspondant.

Figure 119

Machine rotative à tamponner  
pour boucher les pores



IX. APPLICATION D'AUTOMATION A COUT  
MODERE : QUELQUES EXEMPLES

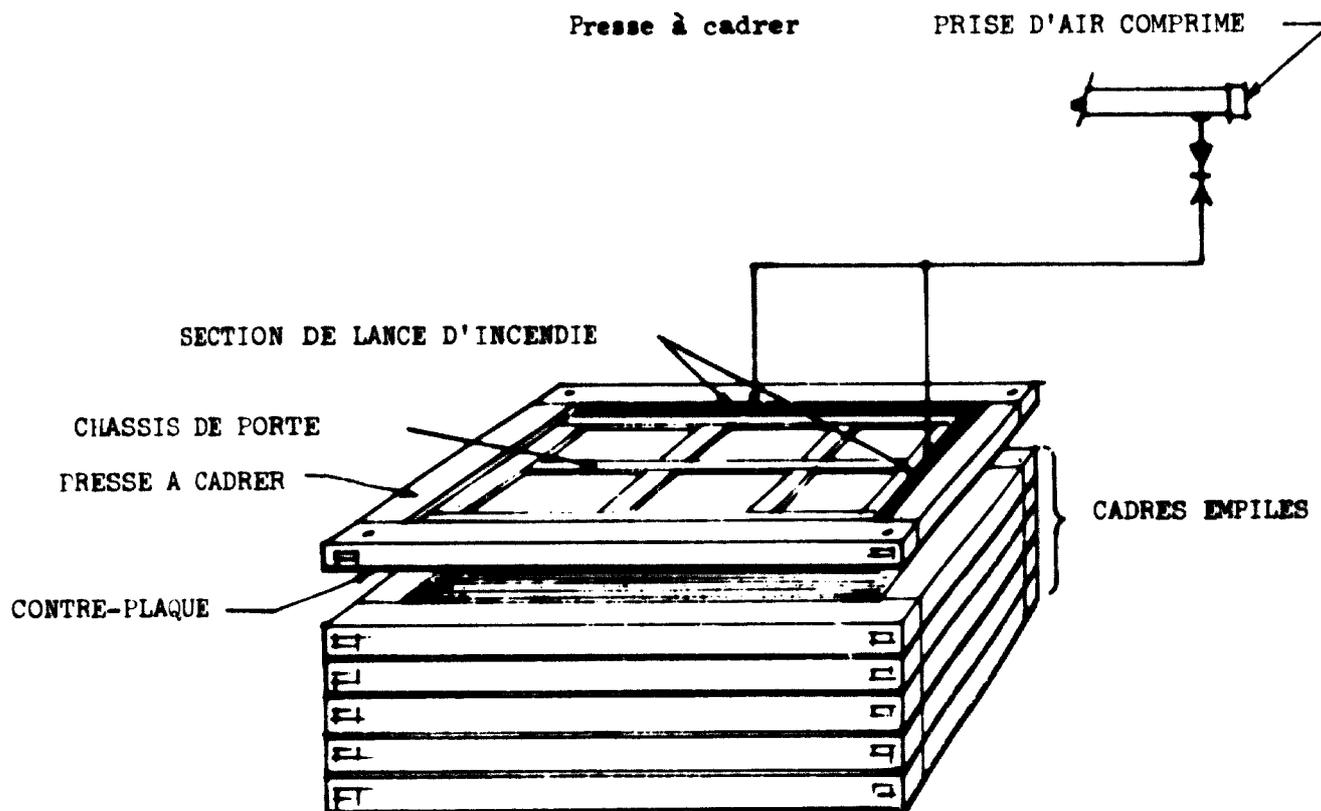
On trouvera dans ce chapitre d'autres exemples illustrant les possibilités d'utilisation de l'ACM. Bien que ces exemples correspondent à des conditions d'utilisation particulières, les circuits en question peuvent être modifiés pour pourvoir à d'autres besoins. Comme on l'a déjà indiqué dans le présent manuel, l'ACM est d'un emploi souple; un circuit peut donc être utilisé à plusieurs fins, à condition que les mouvements à imprimer aux éléments soient similaires.

A. Presse à cadrer

La lance à incendie est un des instruments les plus utiles pour les systèmes d'ACM dans les fabriques de meubles et les menuiseries. Comme les lances à incendie sont prévues pour résister normalement à une pression interne de 20 bars, on peut aisément en utiliser une section comme conduite d'air comprimé (le plus souvent à 10 bars) et obtenir ainsi un dispositif de serrage très efficace et bon marché. La souplesse des tuyaux permet même de serrer des éléments en bois arrondis. La seule adaptation nécessaire consiste à boucher le tuyau à ses deux extrémités et à le munir d'une valve à pneumatique.

La presse à cadrer représentée dans la figure 120 sert à maintenir des châssis de fenêtres ou de portes pendant que la colle prend. Il suffit de brancher le tuyau sur une prise d'air pour que le serrage se fasse. La pression cesse dès que le tuyau est débranché.

Figure 120



Ce type de dispositif a permis dans bien des cas d'éliminer les presses à main lesquelles endommageaient parfois le fini du produit. Dans une entreprise la productivité s'en est trouvée augmentée de 30 %.

Dépenses d'investissement

20 presses à cadrer	85 dollars
Lance à incendie (déchets)	-
Accessoires	50 dollars
Total	135 dollars

Situation avant l'ACM

Coût de la main-d'oeuvre	0,10 dollar par cadre
Capacité de production	16 cadres par jour

Situation après l'ACM

Coût de la main-d'oeuvre	0,08 dollar par cadre
Capacité de production	21 cadres par jour

Avantages

Economie de main-d'oeuvre : 0,02 dollar par cadre  
Amortissement des investissements après la production de 6 750 cadres  
(12,4 mois)  
Accroissement de la capacité de production et amélioration de la qualité  
Economie de locaux grâce à la réduction de l'espace nécessaire à l'empilage

B. Dispositif pour coller les placages  
sur chants

Cette fois, la lance à incendie est utilisée avec d'autres éléments (électro-pneumatiques) dans une machine simple servant à plaquer un panneau sur chants, comme le montre la figure 121. Le tuyau est gonflé lorsqu'on appuie sur le bouton "marche". Quand la pression dans le tuyau atteint un niveau suffisant, la machine à souder et le chronomètre sont branchés à l'aide de la bobine de relais R<sub>2</sub>. La machine à souder est reliée à une mince bande de cuivre qui, en se réchauffant, fait prendre la colle liant le placage au panneau. Après un délai déterminé au préalable, le chronomètre débranche la machine à souder et le tuyau, ce qui desserre la pièce usinée.

Dépenses d'investissement

Coût approximatif des éléments : 113 dollars.

Avantages

Meilleur réchauffement du placage, ce qui améliore la qualité du produit et accroît la production de 20 %.

C. Dispositif de montage de cadres de porte

Pour monter les cadres de porte, on peut se servir d'un dispositif pneumatique composé d'un cylindre à air comprimé et d'une section de lance à incendie (figure 122). En prenant le bouton "marche", on active le cylindre à air comprimé A. Quand une certaine pression est atteinte, le tuyau se gonfle, ce qui permet le montage du cadre. La décompression se fait en appuyant sur le bouton "arrêt".

Une entreprise ayant eu recours à ce dispositif a pu augmenter de près de quatre fois sa capacité de montage de portes avec le même nombre d'ouvriers. On trouvera ci-après des données relatives à une usine produisant des châssis de fenêtres.

Dépenses d'investissement

Eléments d'ACM	291 dollars
Gabarits	225 dollars
Lance à incendie (déchet)	-
Total	516 dollars

Situation avant l'ACM

Coût de la main-d'oeuvre	0,06 dollar par châssis
Capacité de production	21 châssis par jour

Situation après l'ACM

Coût de la main-d'oeuvre	0,0107 dollar par châssis
Capacité de production	104 châssis par jour

Avantages

Economie de main-d'oeuvre : 0,0493 dollar par châssis  
Investissement amorti en quatre mois  
Amélioration de la qualité

D. Machine pneumatique à clouer

L'emploi de pistolets pneumatiques à clous permet en général d'améliorer les opérations de clouage. Cependant, il faut parfois se servir de clous longs (plus de 10 cm) difficiles à charger dans ces pistolets. En l'absence de machines à clouer pneumatiques standards, le système représenté dans la figure 123 peut être utilisé quand on a besoin d'enfoncer les clous de cette taille. Moins rapide que le matériel normalement utilisé, ce système permet en revanche d'atténuer certaines difficultés gênantes en matière de clouage. Il peut être facilement adapté à tout besoin particulier.

Le coût approximatif est de 1,025 dollar, dont 550 pour les éléments d'ACM et 475 pour les gabarits, montages, etc.

Figure 121

Machine à coller sur chants

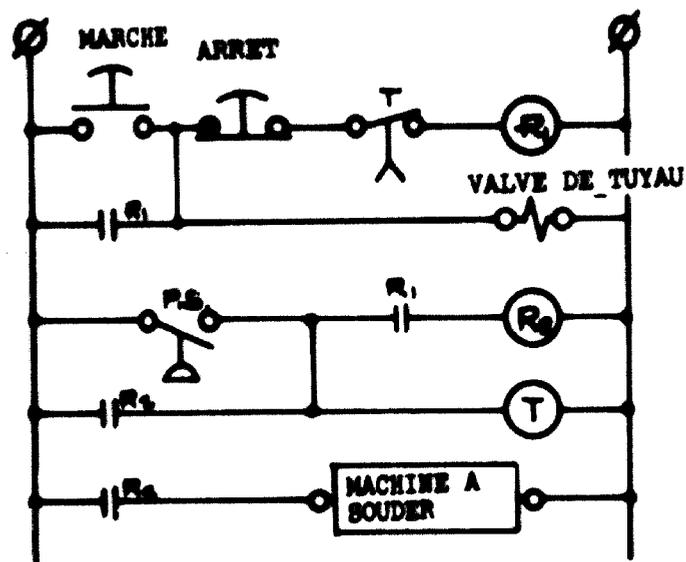
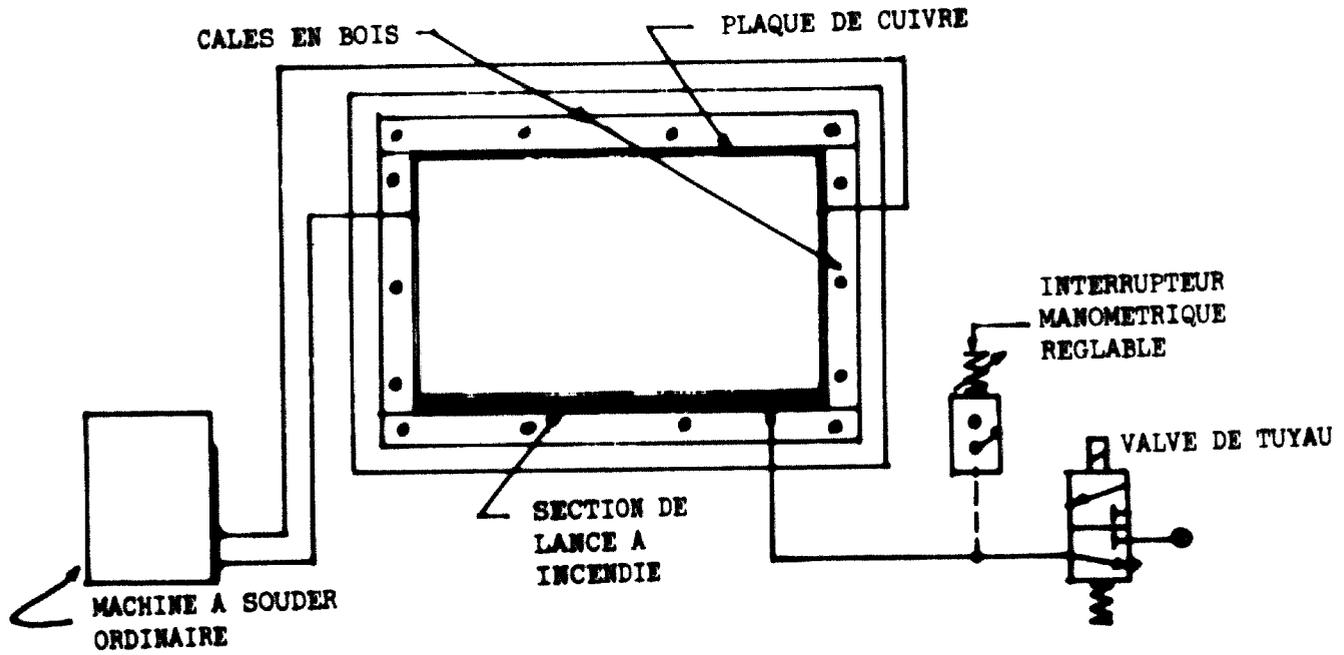


Figure 122

Dispositif de montage de cadres de porte

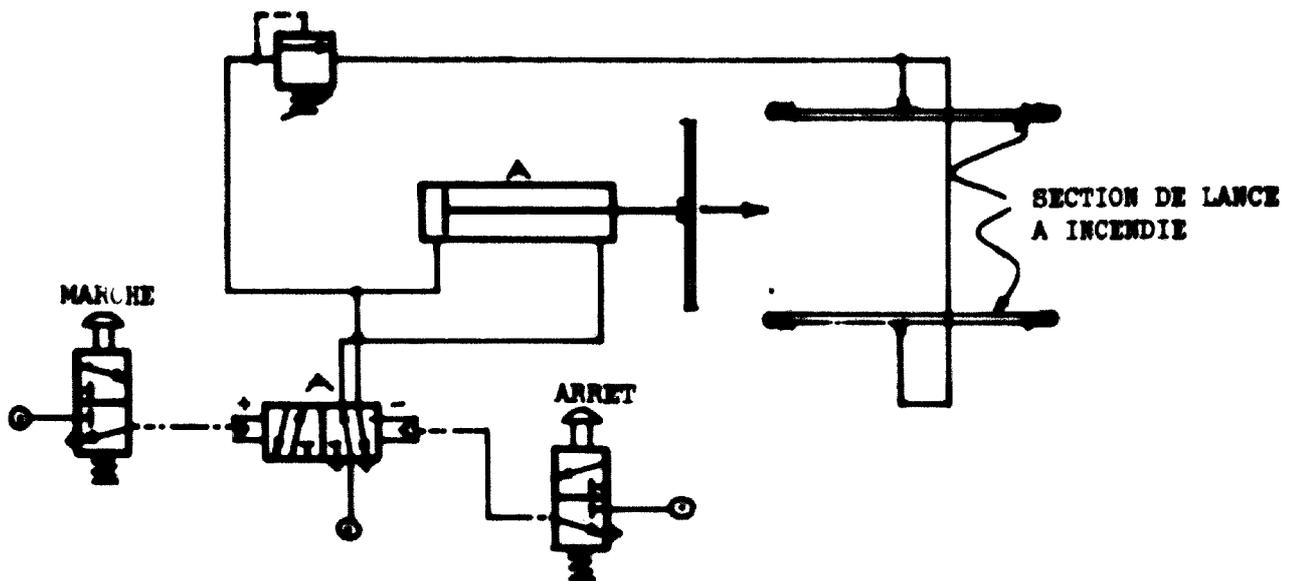
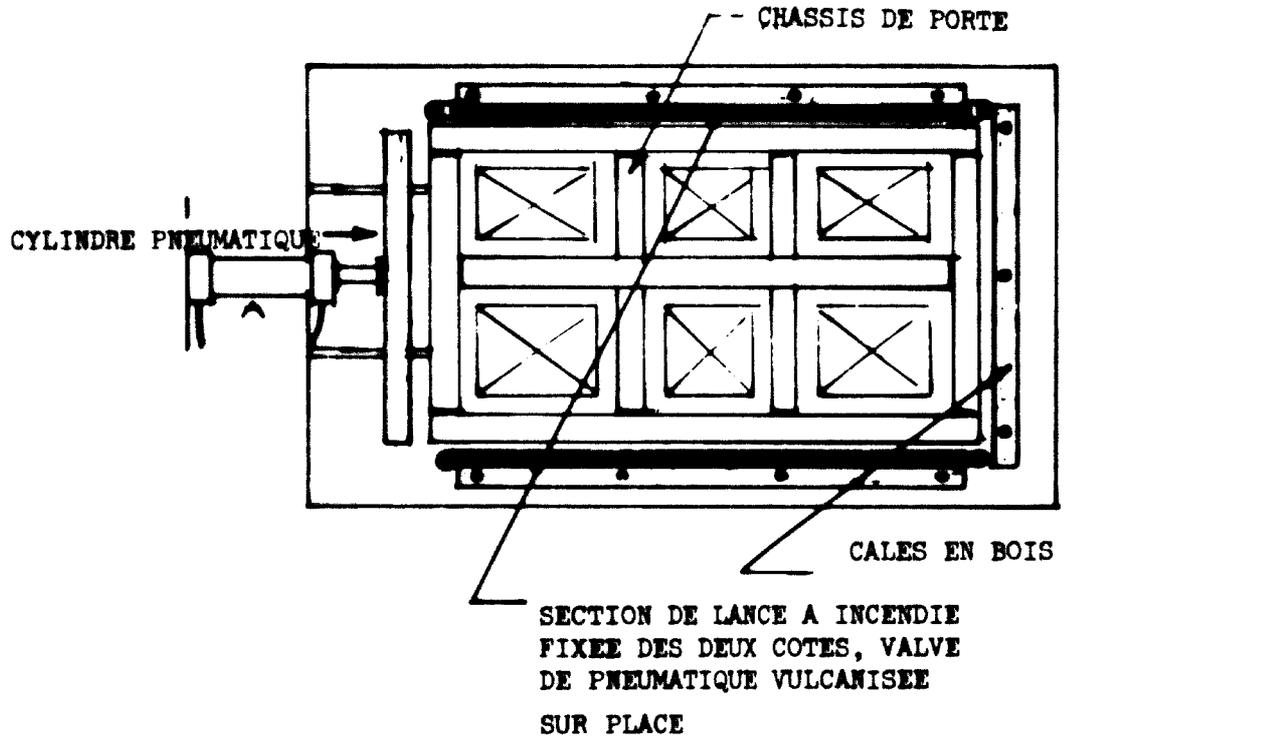
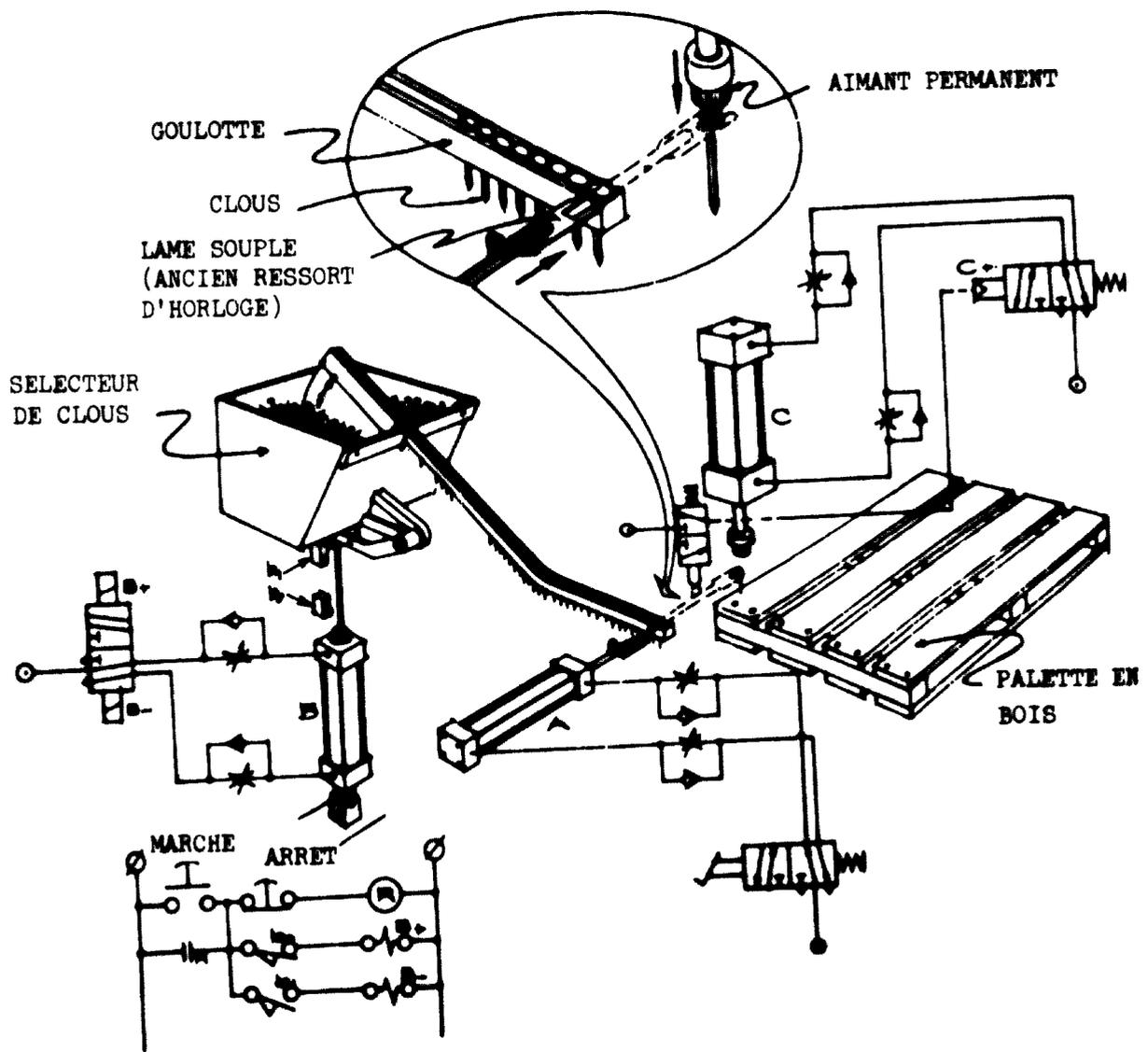


Figure 123

Machine pneumatique à clouer



### E. Riveteuse pneumatique à percussion

Les cylindres à percussion permettent de dégager des forces instantanées considérables. Par exemple, un cylindre de 10 cm alimenté en air soumis à une pression de 7 bars peut exercer une force d'environ 2 tonnes. Ces cylindres à percussion peuvent être employés pour le rivetage et pour l'insertion de plaques de jonction métalliques.

Le système représenté dans la figure 124 a permis d'accélérer le rivetage des pieds de chaises pliantes dans un atelier de mobilier métallique.  
Attention : Le cylindre à percussion peut causer de graves blessures à toute personne qui expose accidentellement ses mains. On ne peut donc se passer du circuit de sécurité qui fonctionne comme suit : l'opérateur pour activer le cylindre doit appuyer simultanément sur les deux soupapes A et B en se servant d'une main pour chaque soupape; le cylindre n'est pas activé si l'ouvrier appuie sur les soupapes successivement.

Une entreprise ayant eu recours à ce dispositif en a retiré les avantages suivants :

#### Dépenses d'investissement

Le dispositif coûte environ 635 dollars.

#### Situation avant l'ACM

Capacité de production	120 chaises par jour
Coût de la main-d'oeuvre (deux ouvriers, l'un pour poser le rivet en place et l'autre pour le refouler)	0,0375 dollar par chaise

#### Situation après l'ACM

Capacité de production	600 chaises par jour
Coût de main-d'oeuvre (deux ouvriers, comme auparavant)	0,009 dollar par chaise
Coût de l'énergie électrique	0,012 dollar par chaise

#### Avantages

Economies : 0,0165 dollar par chaise  
Investissements amortis en 11 semaines  
Amélioration qualitative du rivetage

### F. Mécanisme d'alimentation pour raboteuse

Les mécanismes d'alimentation à système mixte air-huile permettent une mise en place plus précise que les mécanismes exclusivement pneumatiques car l'huile n'est pas compressible. Dans la figure 125, c'est en réalité l'huile

Figure 124

Riveteuse pneumatique à percussion

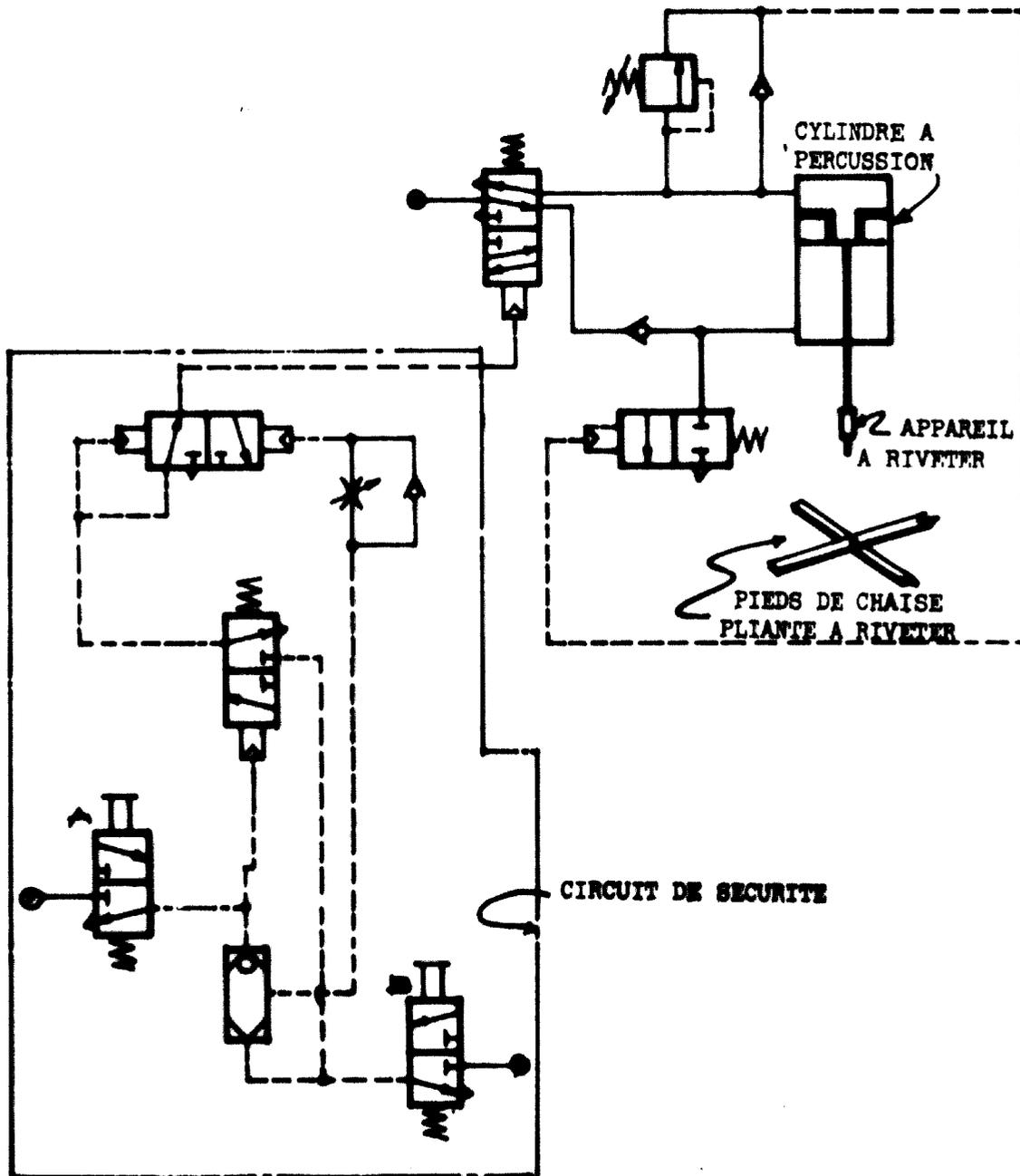
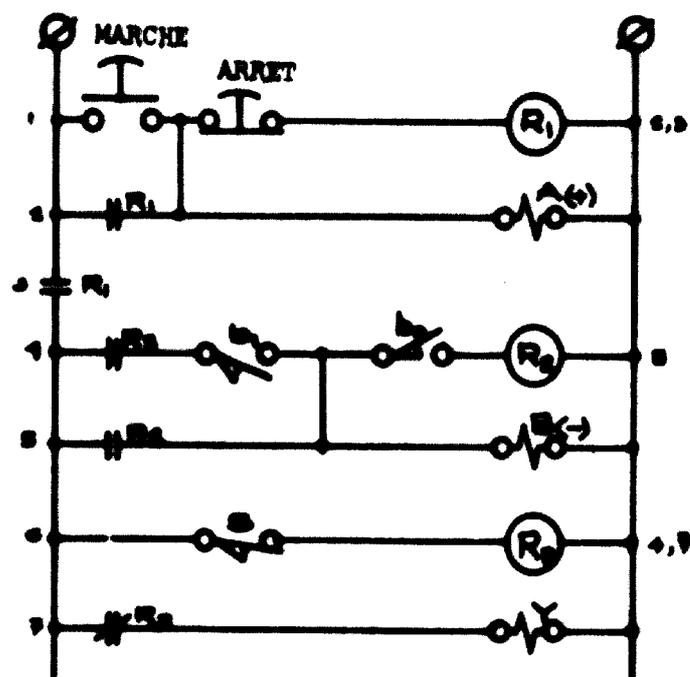
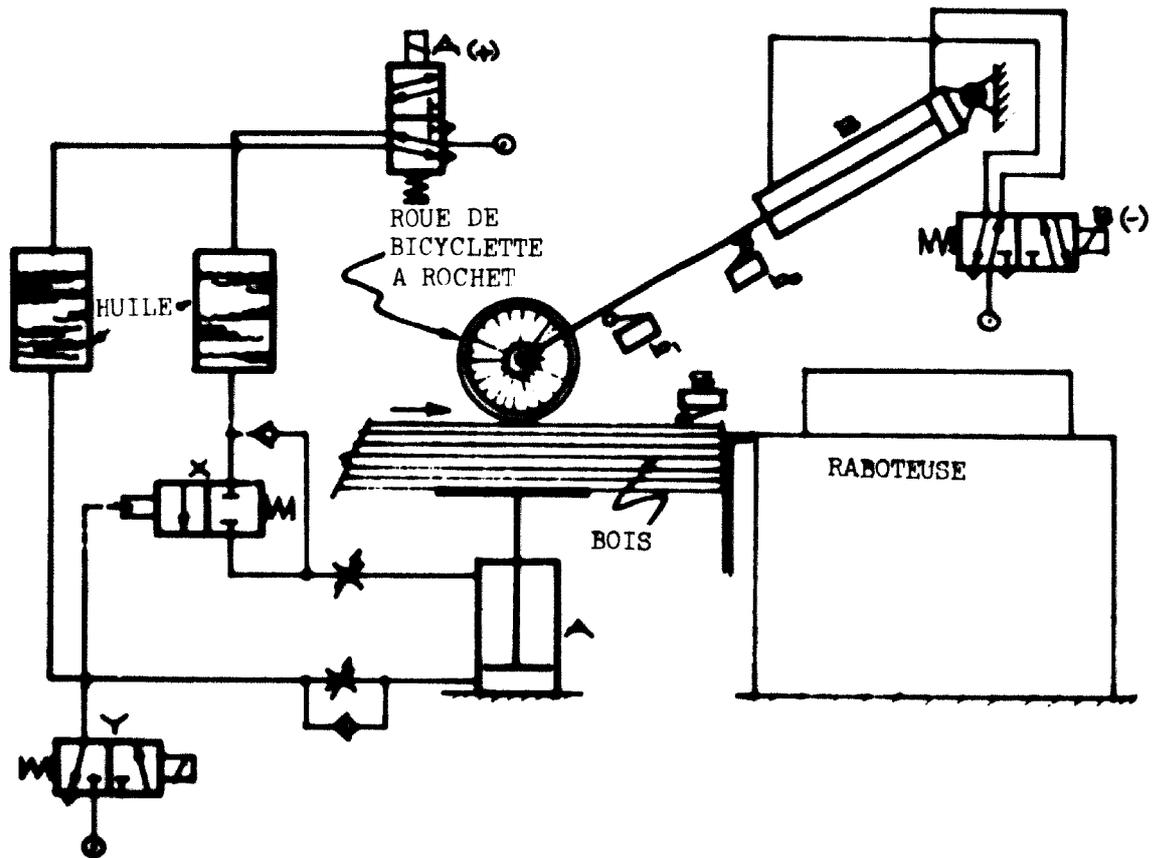


Figure 125

Mécanisme d'alimentation pour raboteuse



qui, poussée par l'air comprimé, déplace le piston du cylindre A. Lorsqu'on appuie sur le bouton "marche", la pile de planches est soulevée par ce cylindre jusqu'à ce que la planche du de-sus active le contacteur S. La soupape Y ferme alors la soupape X, qui interrompt à son tour le flux d'huile vers le cylindre A, ce qui met un terme au mouvement ascendant de celui-ci. Ensuite, par un mouvement de recul, le cylindre B introduit la planche du dessus dans la raboteuse et amorce un mouvement d'avance dès que le contacteur b<sub>0</sub> a été activé (le cylindre B est pourvu d'une roue de bicyclette ordinaire munie d'un rochet de façon à ne pouvoir tirer la planche que dans une seule direction). Lorsque la planche du dessus, introduite dans la raboteuse, ne repose plus sur la pile, le contacteur S se déclenche et le cycle se répète jusqu'à ce que toutes les planches de la pile aient été introduites dans la raboteuse.

Dépenses d'investissement

Eléments d'ACM	636 dollars
Eléments et accessoires fabriqués sur place	175 dollars
Total	<u>811 dollars</u>

Situation avant l'ACM

Nombre d'ouvriers	2 (l'un pour alimenter la machine, l'autre pour empiler le bois usiné)
Salaire total	4,50 dollars par jour
Coût fixe de la machine	250 dollars par an
Utilisation de la machine (temps directement productif)	50 %

Situation après l'ACM

Nombre d'ouvriers	1 (l'ouvrier préposé à l'alimentation n'est plus nécessaire)
Utilisation du matériel	90 %

Avantages

Economies de main-d'oeuvre	2,50 dollars par jour
Economies dues à une meilleure utilisation du matériel	100,00 dollars par an

G. Perçage automatique

La perceuse est un des outils les plus couramment employés dans les fabriques de meubles ou les ateliers de menuiserie que ce soit pour forer des trous ordinaires ou des trous à chevilles, ou pour mortaiser.

Automatisé, le perçage comprend les opérations suivantes : approche rapide de la mèche vers la pièce à usiner et, quand celle-ci est atteinte, avance contrôlée de l'outil; dès que le trou a la profondeur voulue, prompt retrait de la mèche. Enfin, un serrage effectif de la pièce à usiner est également important d'autant plus qu'il aide à prévenir les accidents.

Figure 126 a)

Dispositif de perçage automatique :  
Comparaison avec le dispositif initial

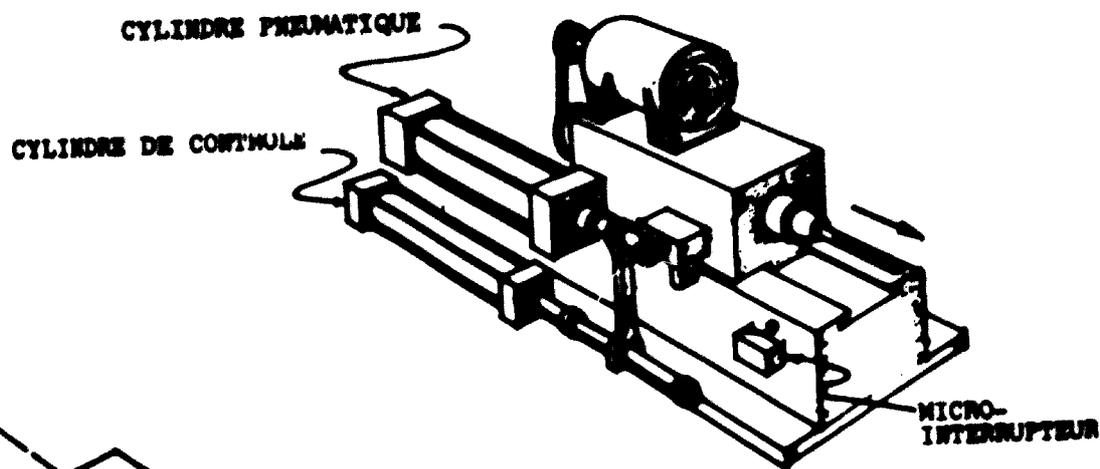
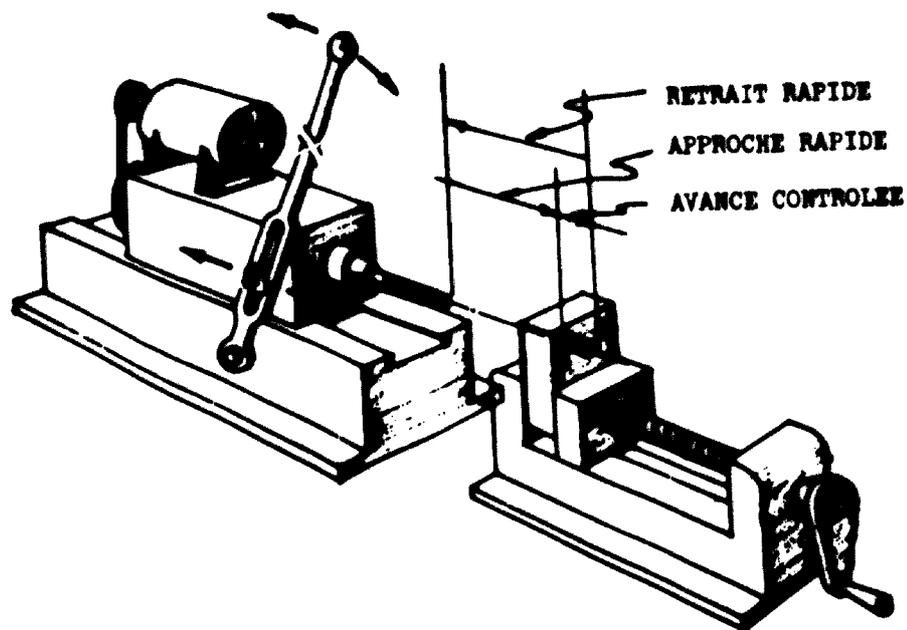


Figure 126 b)

Dispositif de perçage automatique :  
Serrage pneumatique

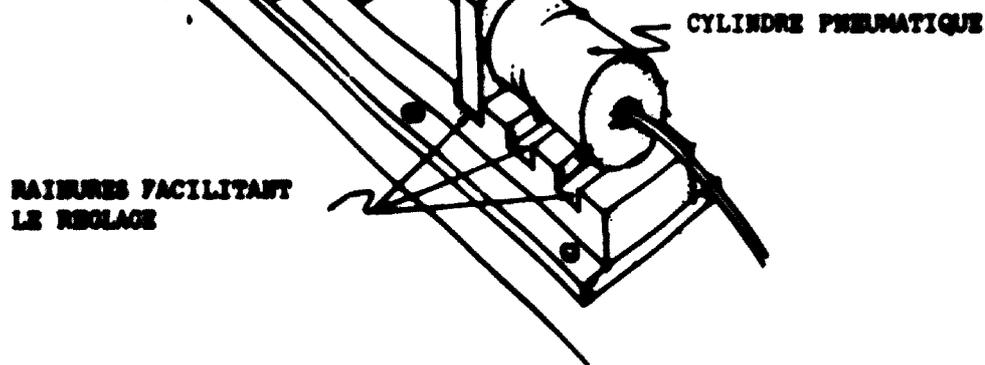
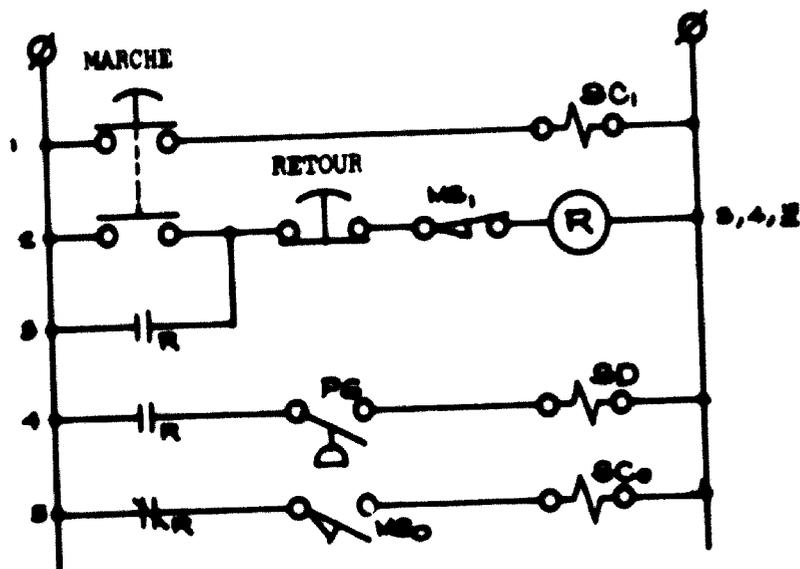
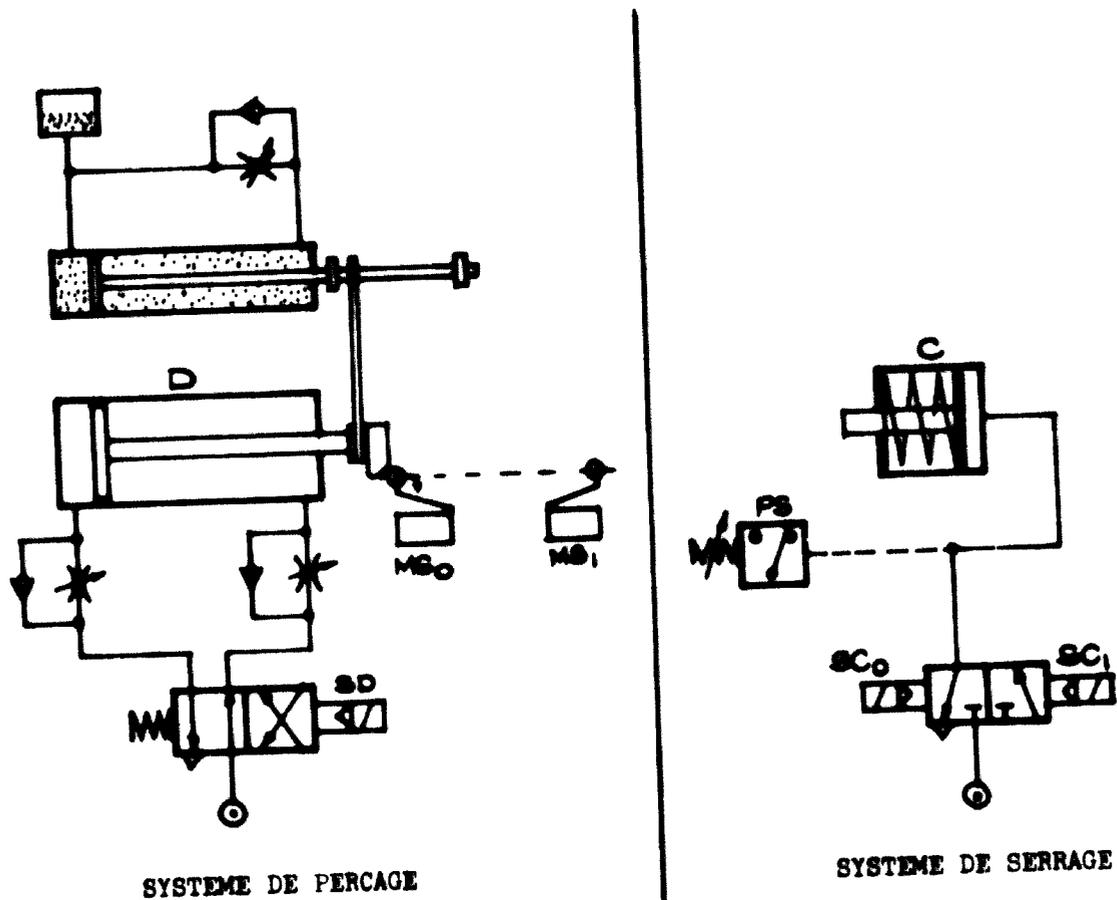


Figure 126 c)

Dispositif de perçage automatique :  
Schémas de circuits pneumatiques et électriques



CIRCUIT ELECTRIQUE

La figure 126 a) montre comment on a pu automatiser un dispositif de perçage périmé pour obtenir un meilleur rendement. Pour assurer l'approche rapide de la mèche et une avance contrôlée, ce dispositif a été muni d'un cylindre pneumatique installé en tandem avec un cylindre hydraulique de contrôle. Le réglage d'un écrou lié aux deux cylindres fixe les limites du mouvement d'approche, tandis que le réglage d'un micro-interrupteur détermine la profondeur du trou à percer.

La figure 126 b) montre la façon dont la presse à main a été adaptée elle aussi en vue du fonctionnement pneumatique. Comme on le voit dans les schémas de la figure 126 c), le dispositif de serrage est mis en marche lorsqu'on appuie sur le bouton "marche", mais l'interrupteur manométrique à pression PS empêche que le perçage ne commence avant que la pièce à usiner soit fermement maintenue en place. Dès que le trou a atteint la profondeur souhaitée, le contacteur  $MS_1$  provoque le retrait de la mèche, après quoi le contacteur  $MS_0$  rouvre le dispositif de serrage.

#### Dépenses d'investissement

Le coût approximatif des accessoires est de 500 dollars.

#### Avantages

Ce dispositif a permis de tripler la capacité des opérations de mortaisage.

### H. Perceuse à colonne automatisée

La figure 127 a) décrit une perceuse à colonne ordinaire, munie d'un cylindre pneumatique et d'un cylindre régulateur à huile. Comme il est indiqué dans le schéma de circuit de la figure 127 b), on peut exécuter avec cette machine des opérations à une course ou à plusieurs courses, les premières pour le perçage ordinaire, les secondes pour le mortaisage ultérieur au moyen d'une mortaiseuse à bédane creux.

Le coût approximatif des éléments est de 400 dollars.

### I. Mortaiseuse pour serrures

L'emploi de la machine automatique à mortaiser les serrures qui est présentée aux figures 128 a) et b) garantit l'uniformité et la qualité du travail. Des cylindres régulateurs déterminent avec précision la vitesse d'avance de la défonceuse et de la mortaiseuse. Toute l'opération est automatique à partir du moment où l'on appuie sur le bouton "marche", c'est-à-dire après que la porte a été fixée sur le gabarit. Le contacteur détermine la profondeur du mortaisage.

Figure 127 a)

Perceuse à colonne automatisée :  
Schéma et circuit pneumatique

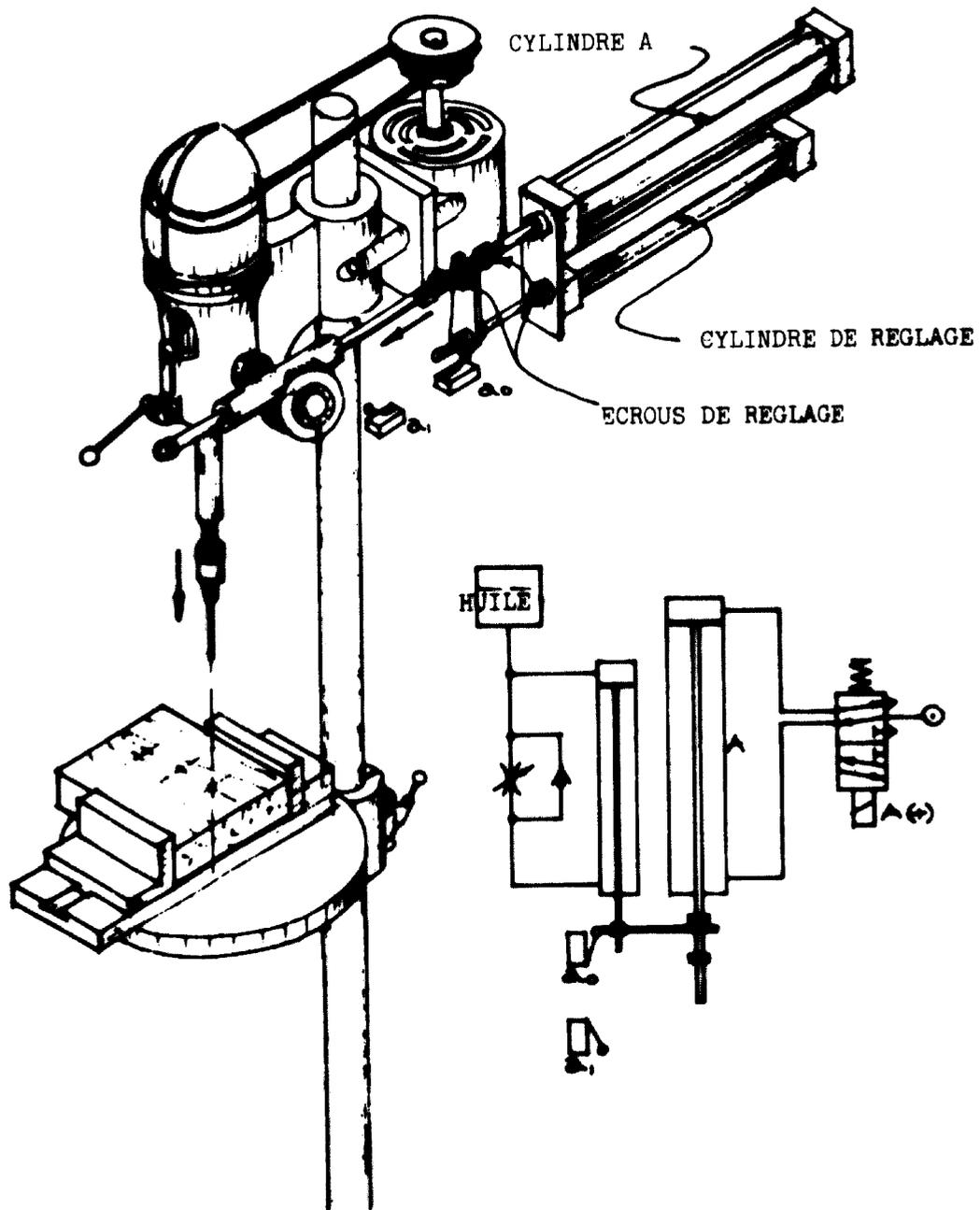


Figure 127 b)

Perceuse à colonne automatisée :  
Schéma du circuit électrique

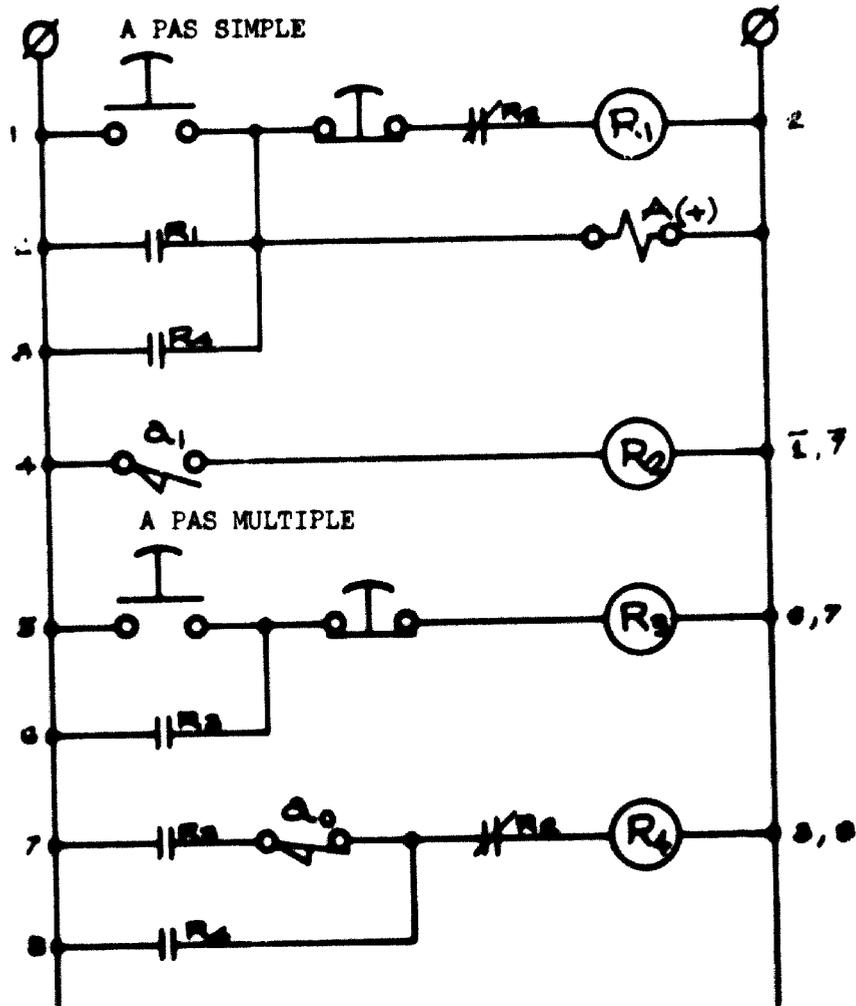


Figure 128 a)

Mortaiseuse pour serrures :  
Schéma et diagramme temps/mouvement

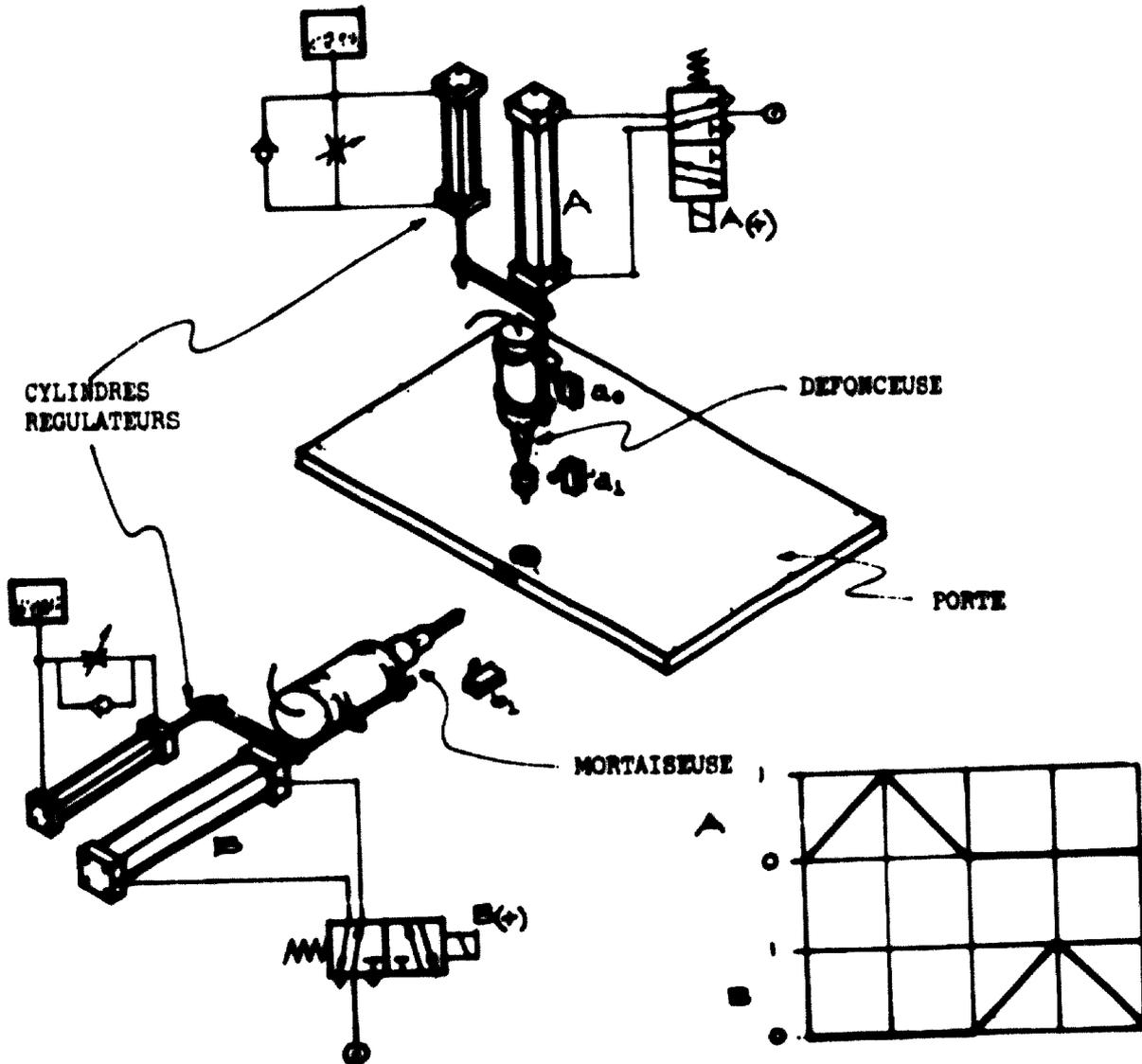
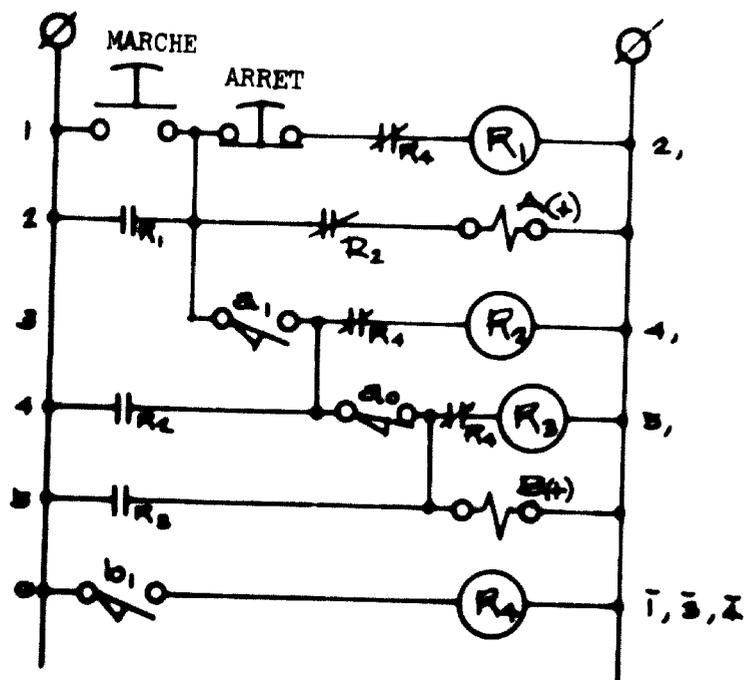


Figure 128 b)

Mortaiseuse pour serrures :  
Schéma du circuit électrique



Dépenses d'investissement

Le coût approximatif des éléments est de 760 dollars.

Avantages

Le recours à l'ACM permet d'augmenter la production de 300 %.

J. Machines à entailler les cloisons de casiers à bouteilles

Dans une usine, la fabrication des cloisons était une des opérations les plus difficiles dans la production de casiers à bouteilles en bois. Longue et peu sûre, cette opération se prêtait en outre malaisément au contrôle de la qualité. Des entailles d'une profondeur préalablement déterminée étaient pratiquées à trois endroits au moyen de trois scies parallèles dont on rapprochait la cloison.

Les figures 129 a), b) et c) montrent la solution ACM. La pile des cloisons à entailler est placée dans un magasin, d'où les pièces sont amenées automatiquement vers des scies verticales.

Dépenses d'investissement

Le dispositif a coûté au total 2 165 dollars.

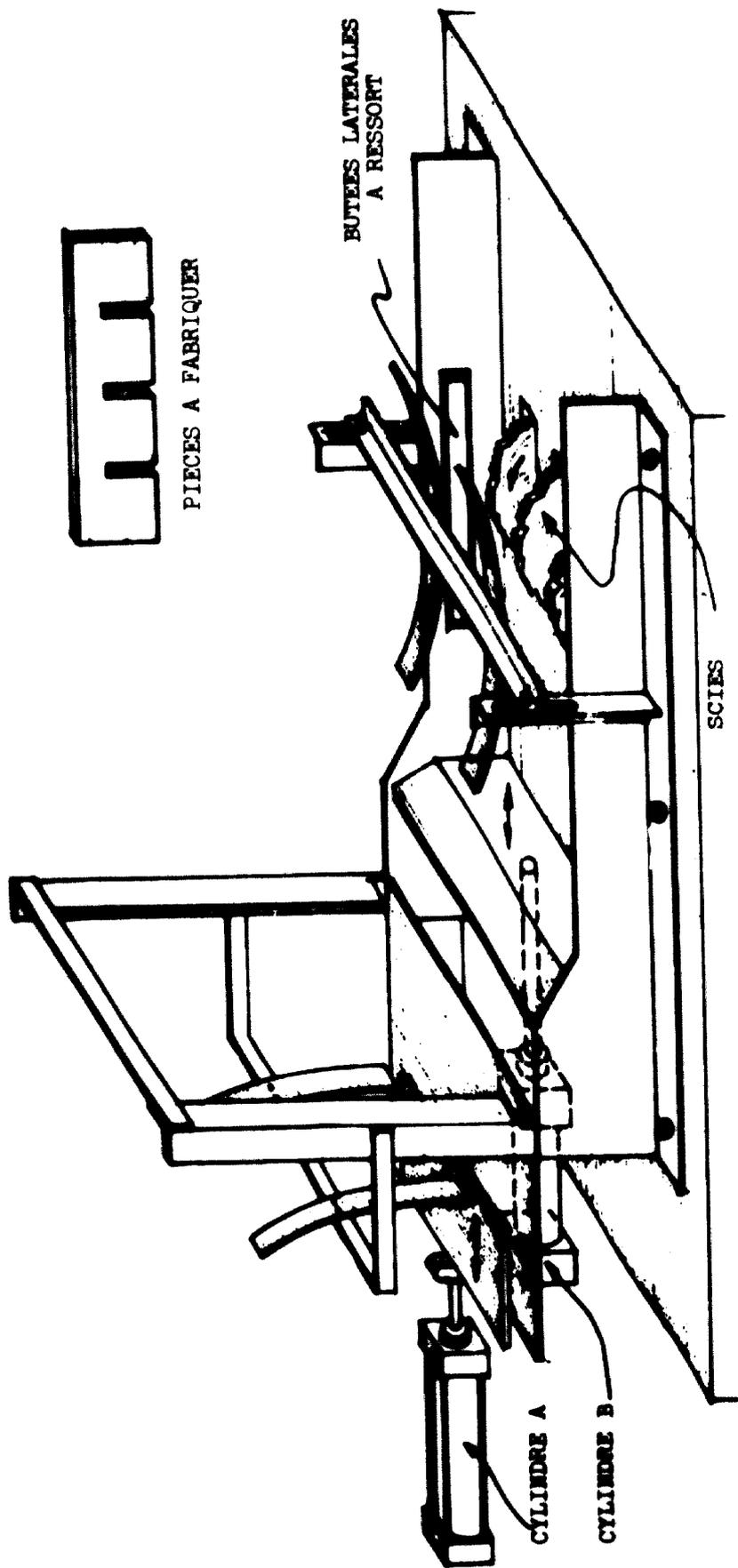


Figure 129 a)  
Machine à entailler les cloisons de casiers à bouteilles :  
Vue générale

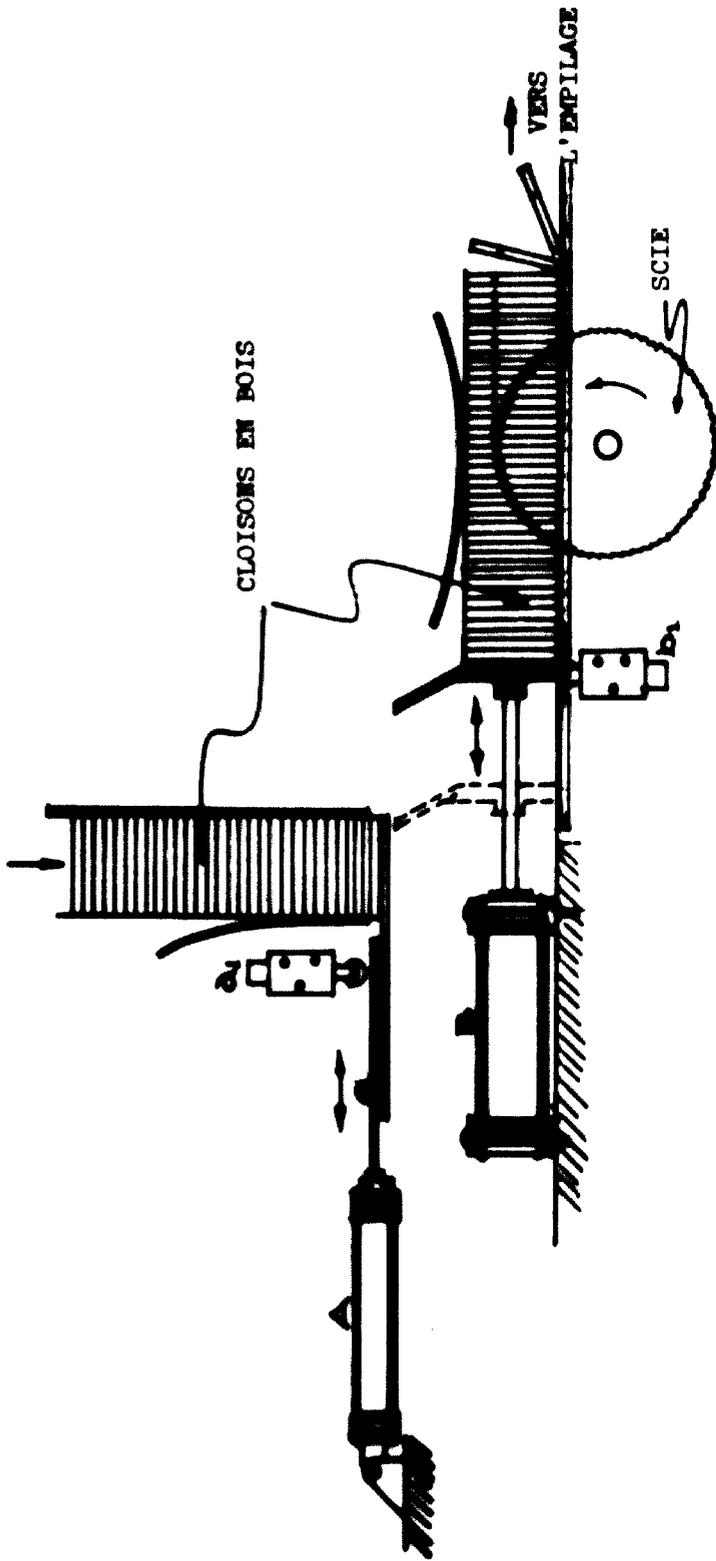


DIAGRAMME DE MOUVEMENT

CYLINDRE A

CYLINDRE B

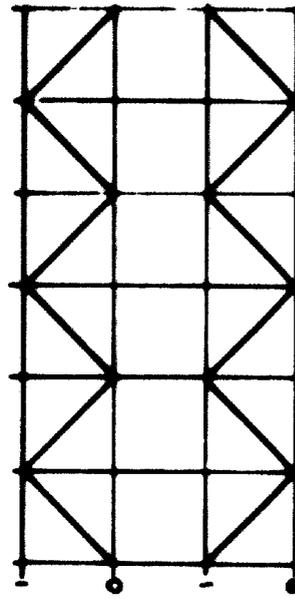


Figure 129 b)

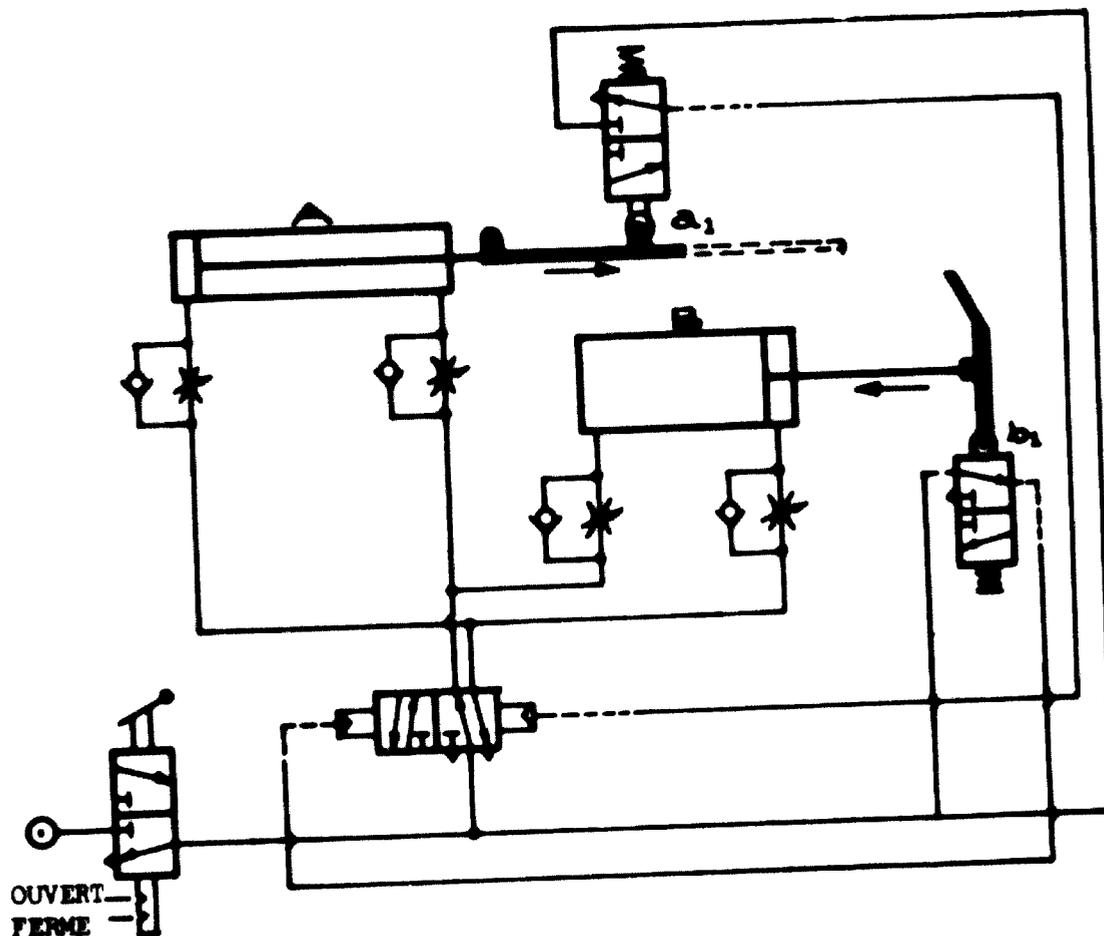
Machine à entailler les cloisons de casiers à bouteilles :  
Vue latérale et diagramme temps/mouvement

Avantages

Le nouveau système a permis d'augmenter la production de 500 % et d'améliorer sensiblement la qualité. En plus, l'augmentation de la capacité de production a rendu possible la négociation d'un contrat pour l'exportation.

Figure 129 c)

Machine à entailler les cloisons de casiers à bouteilles :  
Schéma du circuit pneumatique



K. Machines à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision

Les figures 130 a), b) et c) représentent une machine à ACM qu'utilise un fabricant de caisses de postes de radio et de télévision pour l'opération difficile qui consiste à faire des rainures dans la couverture en contre-plaqué des écrans de haut-parleur. Auparavant ces rainures étaient faites à l'aide

d'une défonceuse. Le panneau de contre-plaqué était présenté à la défonceuse, guidé par une glissière en bois de façon à obtenir des rainures droites. Une proportion élevée de pièces usinées devait être mise au rebut.

Dans la formule ACM, les rainures sont exécutées à l'aide d'une scie mécanique dont l'avance est déterminée par le cylindre B. Sous l'effet du cylindre mixte air-huile A, le contre-plaqué avance d'une manière précise pendant qu'on y pratique des rainures successives. Le système mixte air-huile est nécessaire pour obtenir une disposition exacte des rainures (ce qu'un procédé exclusivement pneumatique ne permettrait pas). La position des contacteurs détermine la position des rainures. Par ailleurs, selon le nombre de rainures voulues, on peut ajouter au circuit des contacteurs supplémentaires avec les relais correspondants.

#### Dépenses d'investissement

L'ensemble du dispositif a coûté 2 600 dollars.

#### Avantages

Cet emploi de l'ACM a permis d'augmenter la capacité de l'usine de 250 % et de rendre négligeables des pièces mises au rebut, soit une économie de 8 250 dollars par an. Mieux encore, l'opération peut maintenant être confiée à un personnel moins qualifié.

#### L. Sélecteur d'épaisseur

Parfois un fabricant doit trier des pièces de bois pour la fabrication d'un produit particulier. Par exemple, une usine produisant des chaises pliantes bon marché à partir de déchets de bois éprouvait des difficultés à sélectionner les morceaux de bois ayant l'épaisseur voulue. Le tri manuel demandait trop de temps et était d'une précision insuffisante.

Le sélecteur automatique d'épaisseur qui a permis de résoudre ce problème est représenté dans les figures 131 a et b). Après que la soupape H a été réglée en fonction de l'épaisseur requise, le cylindre A écarte les pièces trop épaisses et laisse passer les pièces de l'épaisseur voulue.

#### Dépenses d'investissement

Les éléments pneumatiques coûtent 485 dollars. Pour les transporteurs à rouleaux, on peut utiliser du matériel usagé ne coûtant rien.

#### Avantages

Le tri a été accéléré de 200 % et est devenu plus sûr.

#### M. Presse à refouler

Dans la fabrication des persiennes, les bouts des lames doivent être comprimés pour entrer plus facilement dans les fentes correspondantes. Lorsque ce travail est exécuté manuellement à l'aide d'un outil coupant il arrive que les lames présentent les défauts suivants :

Figure 130 a)

Machine à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision : Schéma

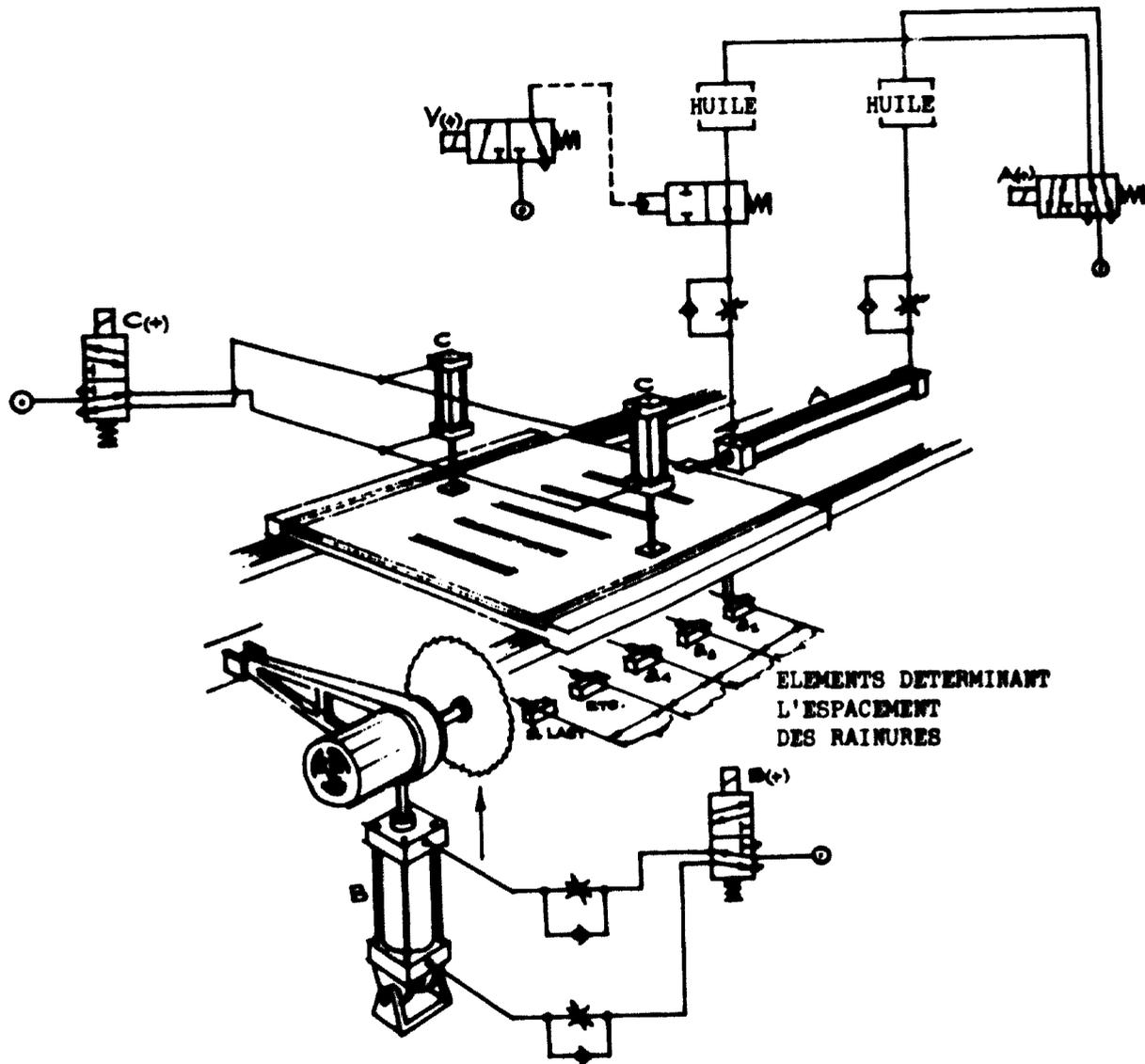


Figure 130 b)

Machine à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision : diagramme temps/mouvement

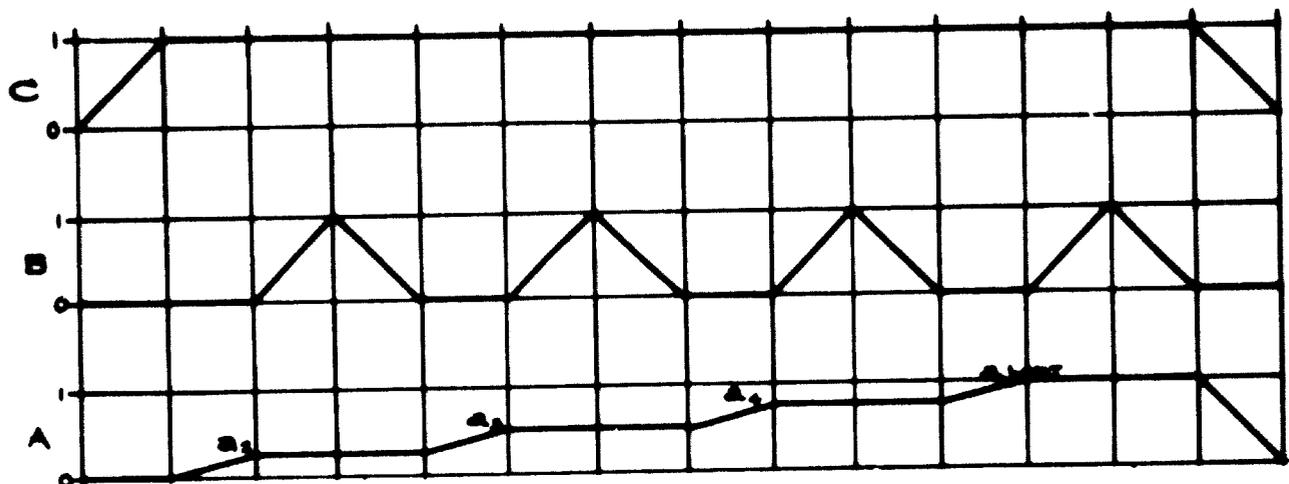


Figure 130 c)

Machine à rainurer les caisses de postes de radio  
et de télévision : Circuit électrique

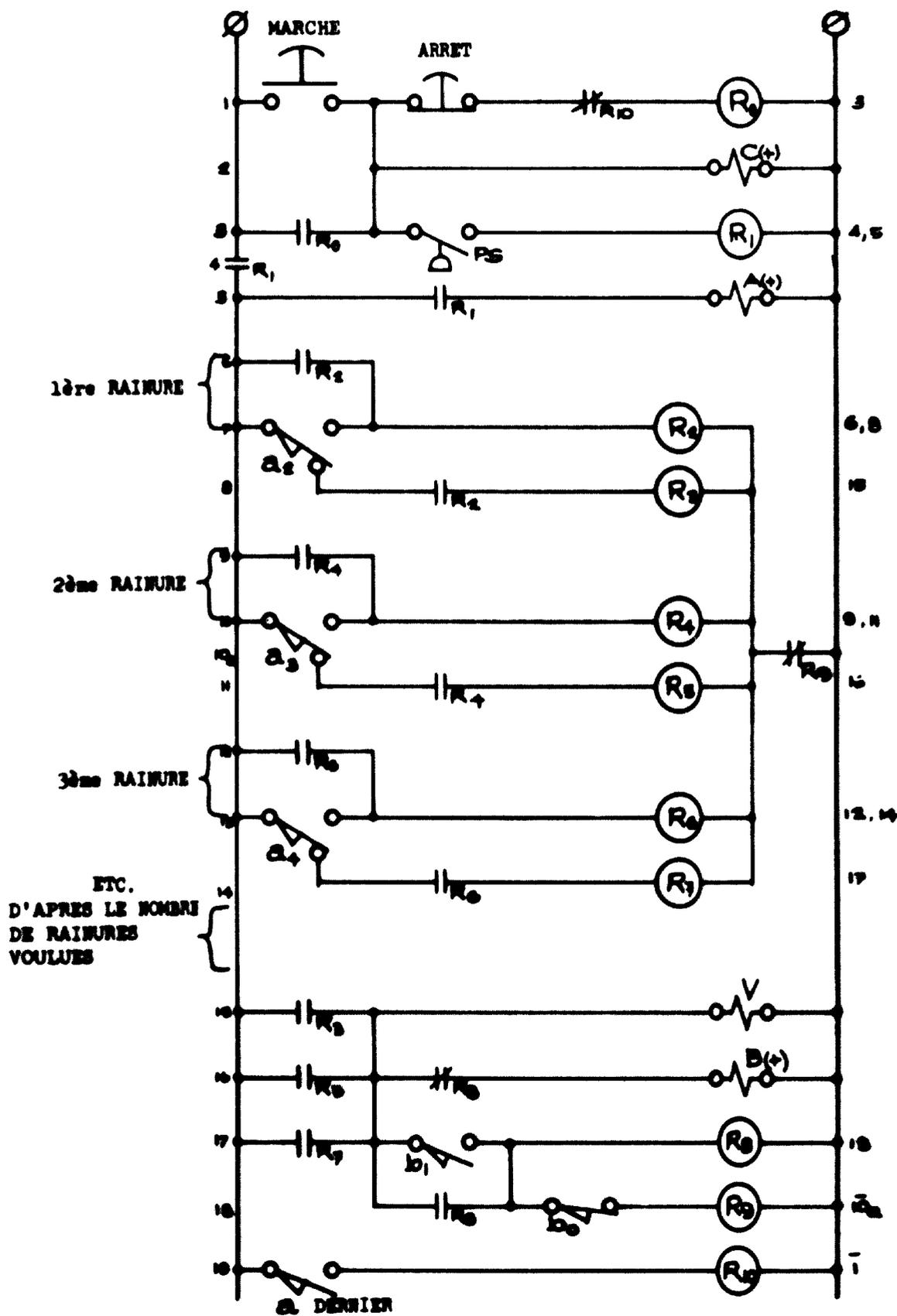


Figure 131 a)

Sélecteur d'épaisseur : Vue générale

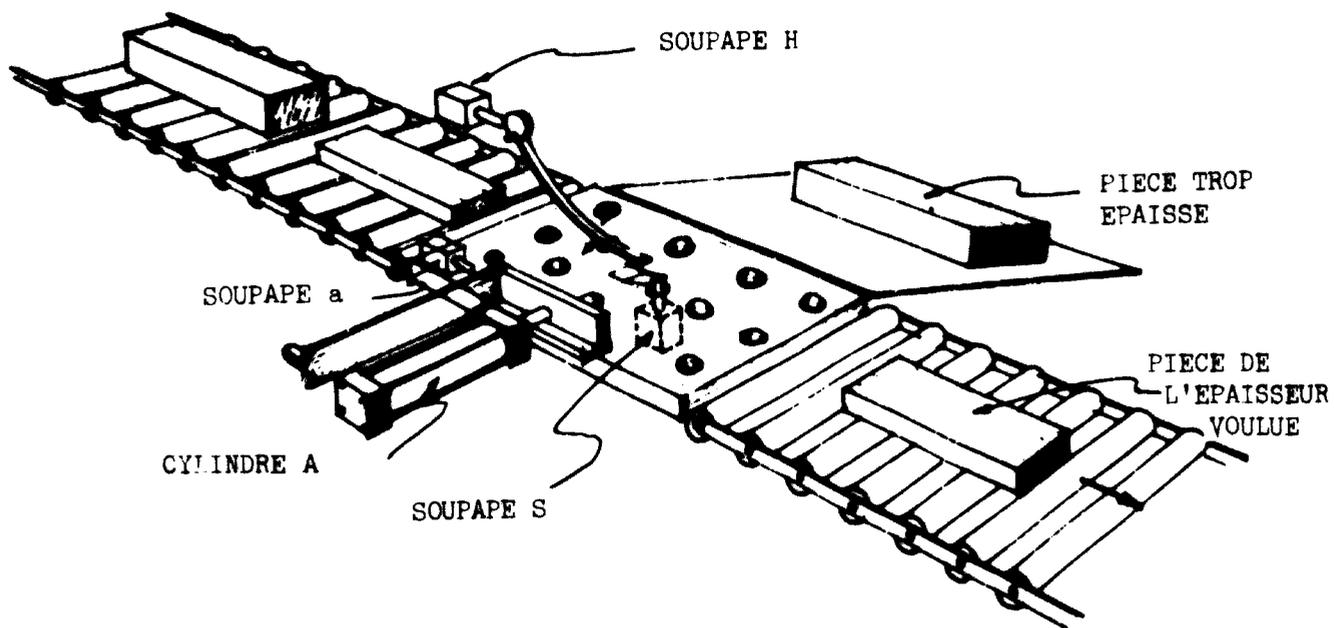
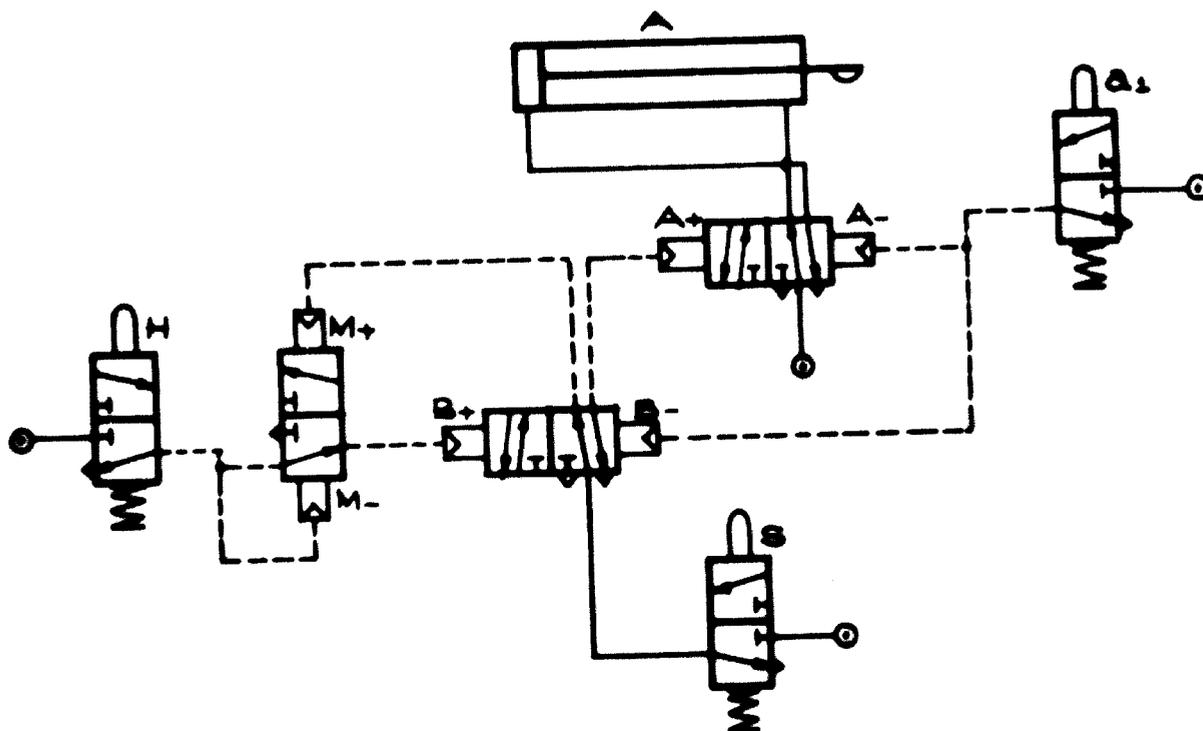


Figure 131 b)

Sélecteur d'épaisseur : Circuit pneumatique



- a) L'extrémité casse quand on l'introduit dans la fente;
- b) Le montage des persiennes fait ressortir la colle, ce qui nécessite un nettoyage supplémentaire.

La solution ACM décrite dans les figures 132 a) à 132 d) permet d'exécuter le refoulement à une vitesse relativement élevée et de façon plus satisfaisante au point de vue qualitatif.

Les lames de bois sont extraites du magasin à l'aide du cylindre A. Lorsqu'elles sont en place, des matrices sont pressées contre les deux extrémités des lames au moyen des cylindres B et B'. Puis le cylindre C maintient les lames en place afin que les matrices puissent être retirées.

L'installation coûte 1 460 dollars environ et peut être amortie en cinq mois.

Figure 132 a)

Presse à refouler : Vue générale

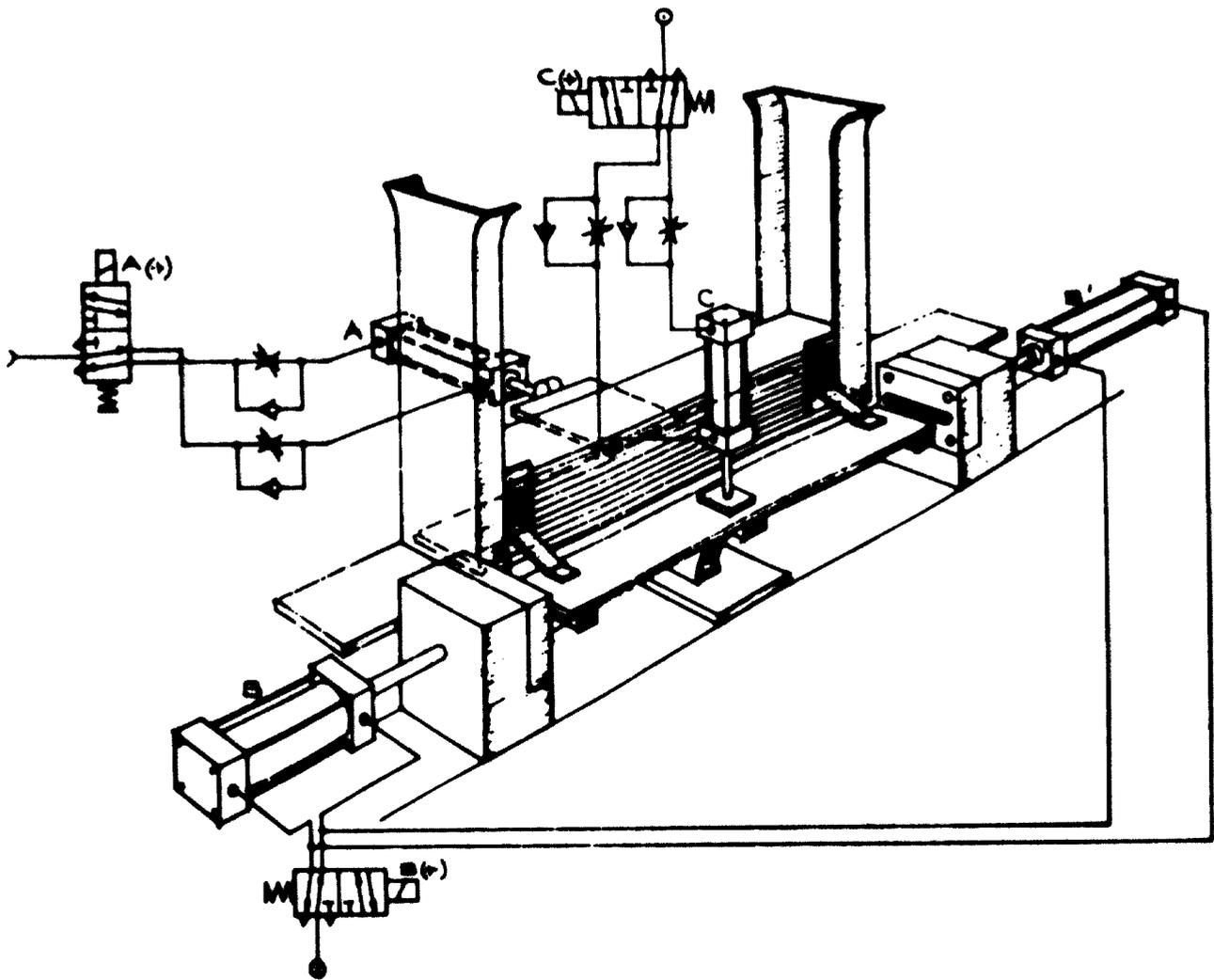


Figure 132 b)

Presse à refouler :  
Matrice

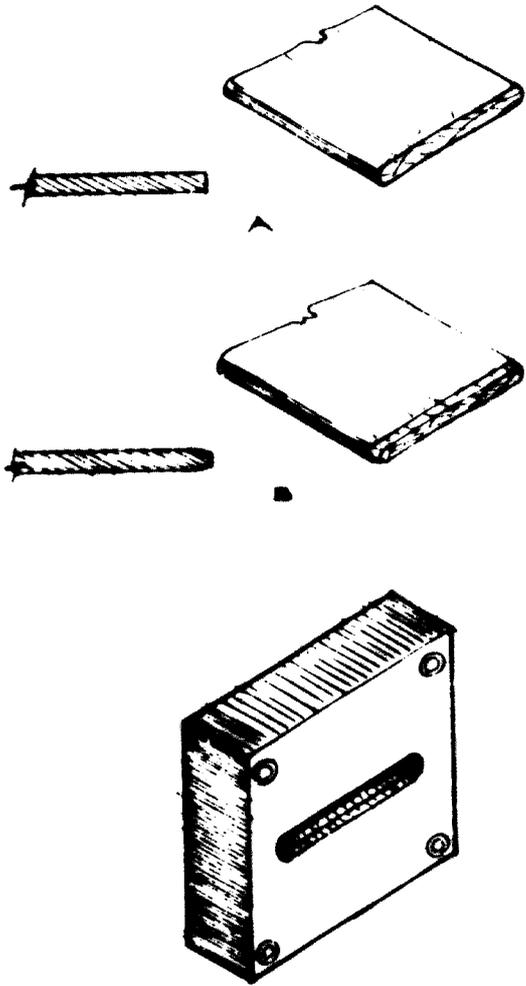


Figure 132 c)

Presse à refouler :  
Diagramme temps/mouvement

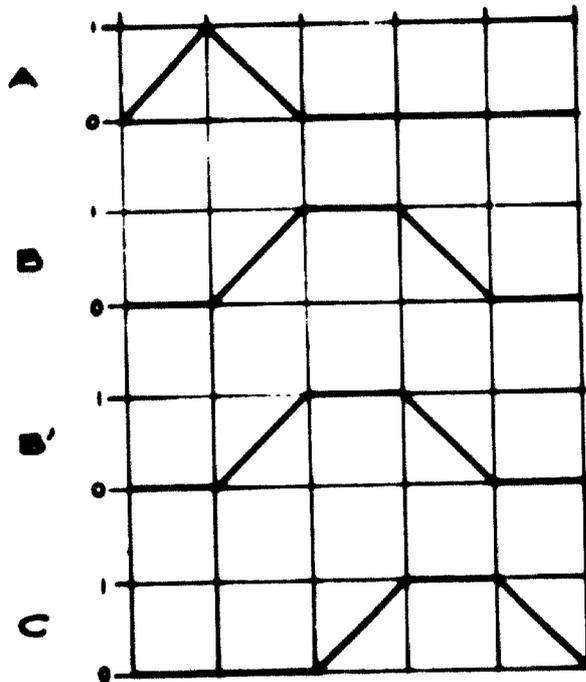
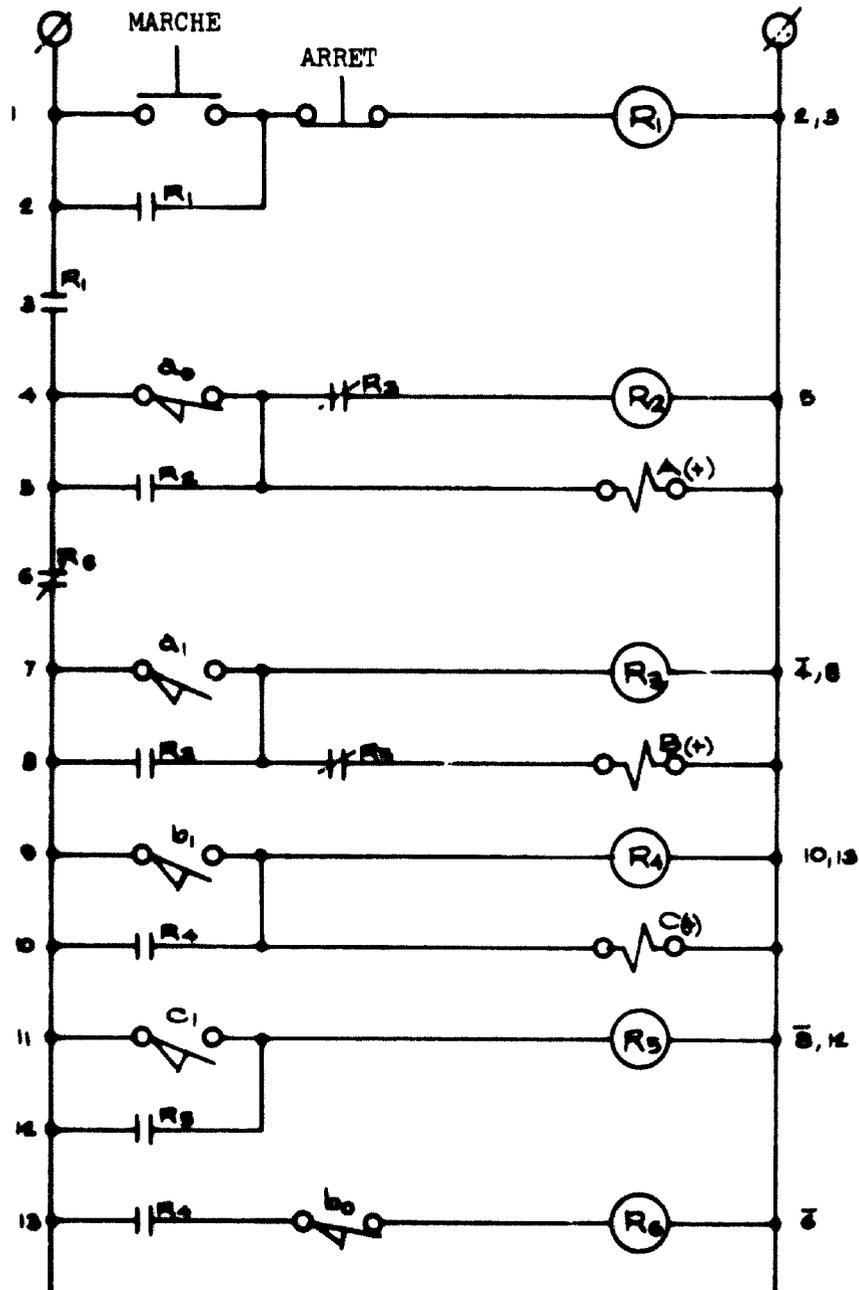


Figure 132 d)

Presse à refouler :  
Circuit électrique



N. Accessoires pour reproduire

On trouvera aux figures 133 a) et b) des accessoires d'ACM pour reproduire, destinés à des tours à bois ordinaires. Comme le mouvement des outils doit être précis se sont des éléments hydrauliques qui sont utilisés. La formule proposée est donc assez coûteuse (4 750 dollars) et son adoption ne peut se justifier que par des raisons spéciales qui dépassent généralement l'accroissement de la productivité.

Figure 133 a)

Accessoires pour reproduire :  
Vue générale

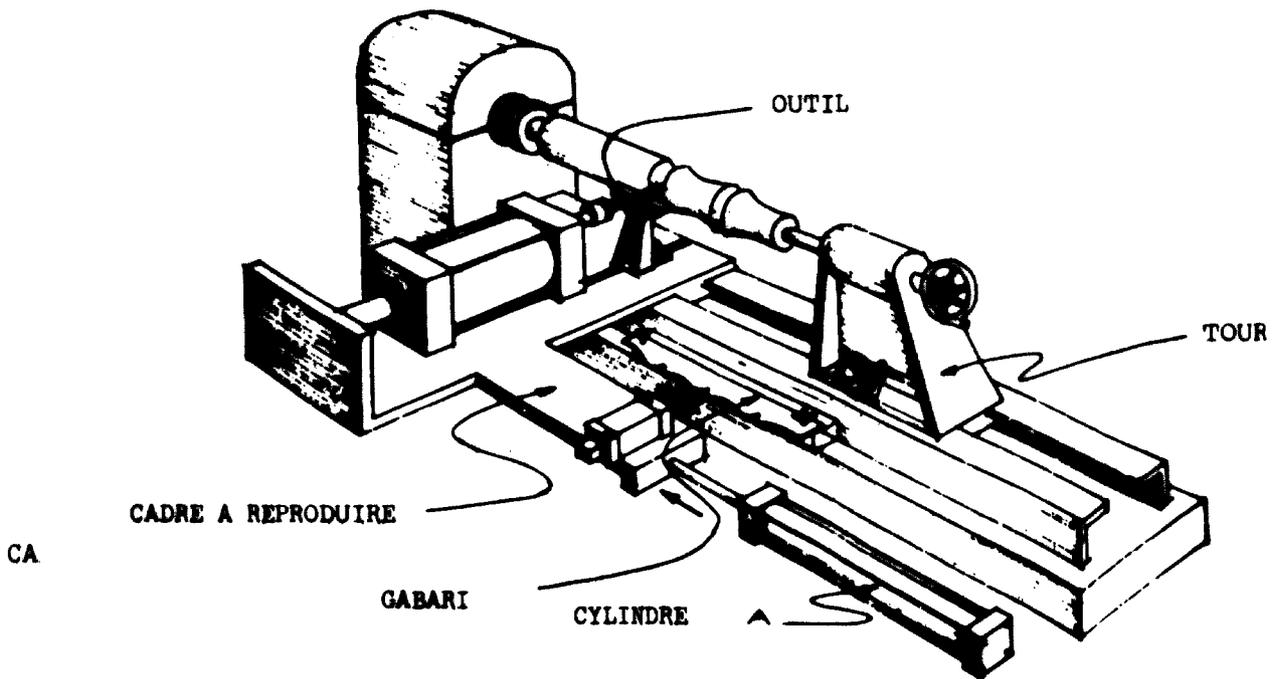
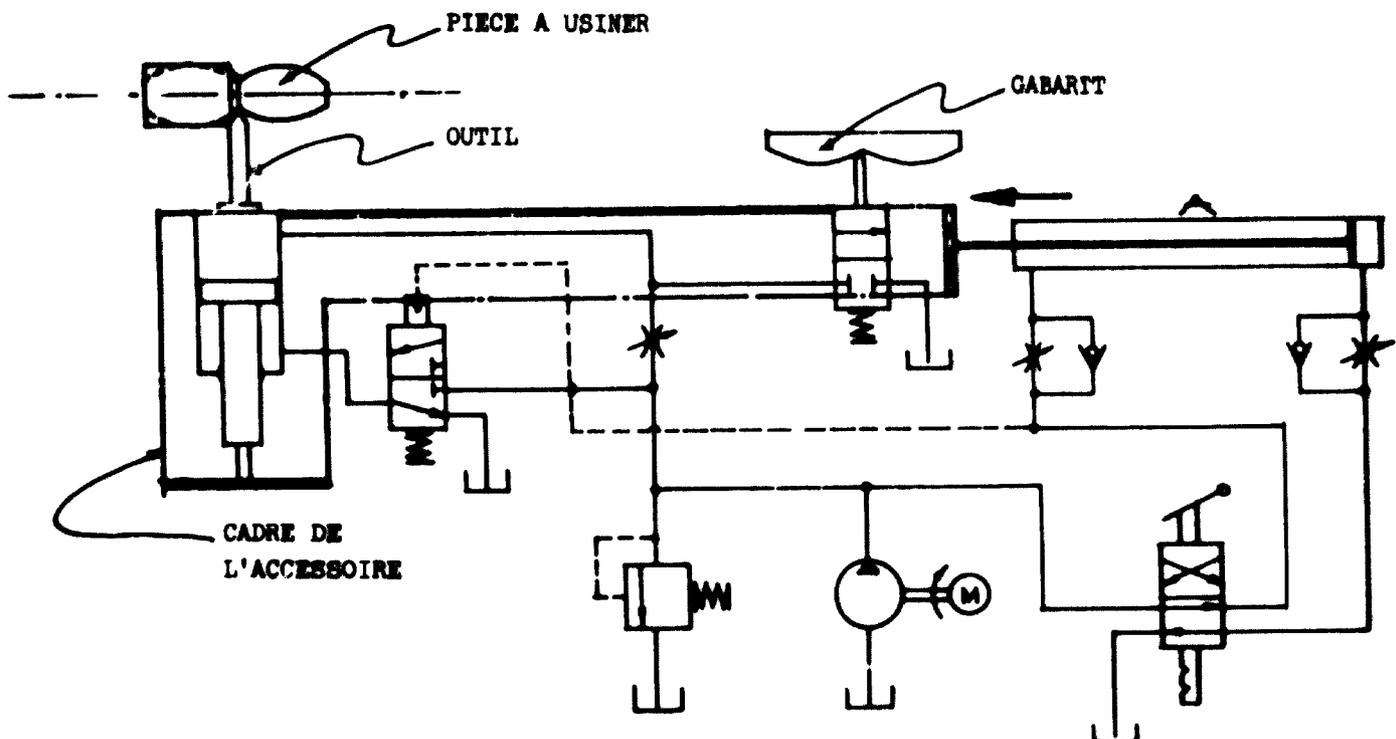


Figure 133 b)

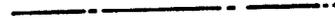
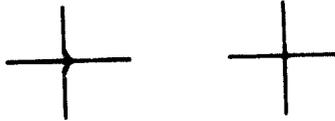
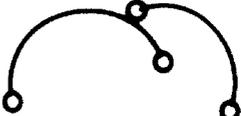
Accessoires pour reproduire :  
Circuit hydraulique



Annexe I

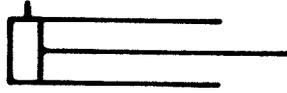
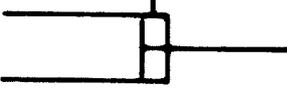
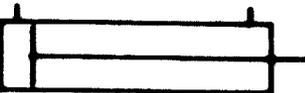
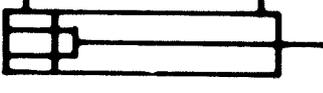
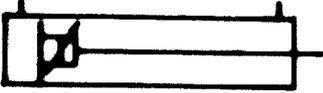
QUELQUES SYMBOLES NORMALISES DE CIRCUIT

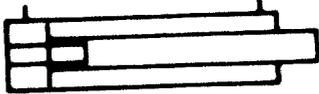
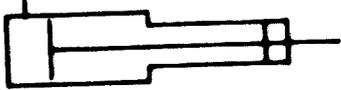
TUYAUTERIE ET RACCORDS

SYMBOLE	DEFINITION
	TRAIT CONTINU - CONDUITE PRINCIPALE
	TRAIT INTERROMPU LONG - - CONDUITE DE PILOTAGE
	TRAIT INTERROMPU - CONDUITE DE DECHARGE OU DE FUITE
	LIGNE TRAIT-POINT - CONTOUR DE L'ENVELOPPE
	CROISEMENT DE CONDUITES (PAS FORCEMENT A 90°)
	RACCORDEMENT DE CONDUITES (PAS FORCEMENT A 90°)
	SENS D'ECOULEMENT LIQUIDE
	SENS D'ECOULEMENT - GAZ
	CONDUITES A ETRANGLEMENT FIXE
	CONDUITES A ETRANGLEMENT REGLABLE
	CONDUITE FLEXIBLE

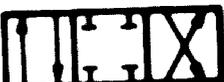
SYMBOLE	DEFINITION
	PRISE DE FORCE BOUCHEE
 <p>ACCOCUPLE</p>  <p>DESACCOCUPLE</p>	RACCORDEMENT RAPIDE SANS CLAPETS
 <p>ACCOCUPLE</p>  <p>DESACCOCUPLE</p>	RACCORDEMENT RAPIDE AVEC CLAPETS
 <p>ACCOCUPLE</p>  <p>DESACCOCUPLE</p>	RACCORDEMENT RAPIDE AVEC UN SEUL CLAPET

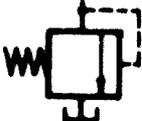
ENGINS PRODUCTEURS DE FORCE RECTILIGNE OU ROTATIVE

	A SIMPLE EFFET ET A POUSSEE
	A SIMPLE EFFET ET A TRACTION
	A DOUBLE EFFET, A SIMPLE TIGE
	A DOUBLE EFFET, A DOUBLE TIGE
	AVEC AMORTISSEUR FIXE DES DEUX COTES
	AVEC AMORTISSEUR REGLABLE D'UN SEUL COTE

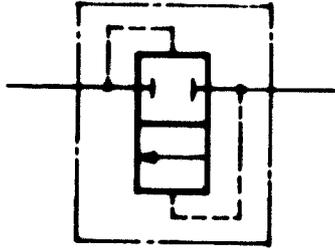
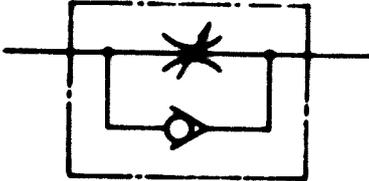
SYMBOLE	DEFINITION
	A DOUBLE EFFET, GROSSE TIGE ET AMORTISSEUR DES DEUX COTES
	MULTIPLICATEUR DE PRESSION
	MOTEUR OSCILLANT HYDRAULIQUE
	MOTEUR OSCILLANT PNEUMATIQUE

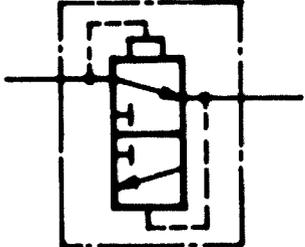
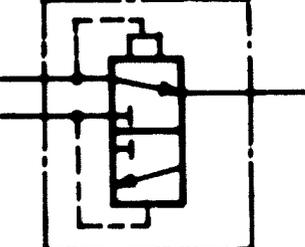
DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES

	2/2 DEUX ORIFICES DEUX POSITIONS DISTINCTES
	ROBINET D'ISOLEMENT (SIMPLIFIE)
	3/2 TROIS ORIFICES TROIS POSITIONS DISTINCTES
	4/2 QUATRE ORIFICES QUATRE POSITIONS DISTINCTES
	5/2 CINQ ORIFICES, DEUX POSITIONS DISTINCTES, MEME FONCTION QUE 4/2, L'ORIFICE SUPPLEMENTAIRE POUVANT REMPLIR UNE AUTRE FONCTION (EVACUATION DES POUSSIERS, PAR EX.)
	4/3 QUATRE ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES POSITION CENTRE FERME

SYMBOLE	DEFINITION
	5/3 CINQ ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES, DEUX ORIFICES OUVERTS A LA PRESSION EN POSITION CENTRE
	4/3 QUATRE ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES, 1 ORIFICE OUVERT A L'ECHAPPEMENT EN POSITION CENTRE
	LIMITEUR DE PRESSION SYMBOLE SIMPLIFIE
	SOUPAPE DE SEQUENCE
	DETENDEUR (REDUCTEUR DE PRESSION)

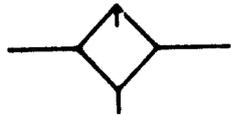
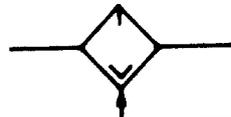
REGLEURS PNEUMATIQUES AUXILIAIRES

	CLAPET DE NON-RETOUR, SYMBOLE COMPLET L'ECOULEMENT VERS LA DROITE EST IMPOSSIBLE; L'ECOULEMENT VERS LA GAUCHE EST POSSIBLE
	CLAPET DE NON-RETOUR SYMBOLE SIMPLIFIE
	APPAREIL DE REGLAGE DU DEBIT - REGLAGE DU DEBIT VERS LA DROITE, DERIVATION DU DEBIT VERS LA GAUCHE

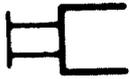
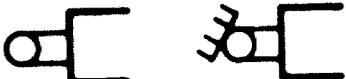
SYMBOLE	DEFINITION
	<p>SOUPAPE D'ECHAPPEMENT RAPIDE</p>
	<p>SELECTEUR DE CIRCUIT</p>
	<p>SELECTEUR DE CIRCUIT (SIMPLIFIE)</p>

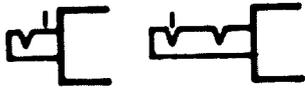
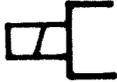
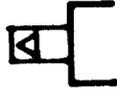
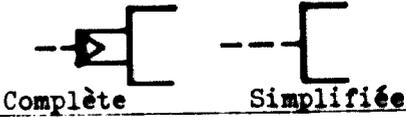
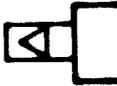
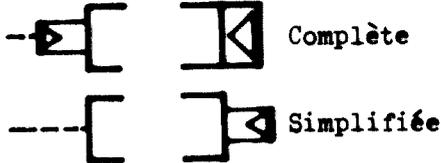
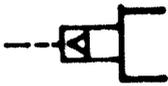
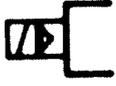
**MATERIEL DE TRAITEMENT DE L'AIR**

	<p>FILTRE-CREPINE</p>
	<p>SEPARATEUR A PURGE MANUELLE</p>
	<p>SEPARATEUR A PURGE AUTOMATIQUE</p>
	<p>FILTRE A PURGE MANUELLE</p>
	<p>FILTRE A PURGE AUTOMATIQUE</p>

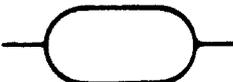
SYMBOLE	DEFINITION
	LUBRIFICATEUR SANS PURGE
	LUBRIFICATEUR A REMPLISSAGE MANUEL
	LUBRIFICATEUR A REMPLISSAGE AUTOMATIQUE
	TRIPLE UNITE POUR CONDUITE D'AIR FILTRE - REGULATEUR - LUBRIFICATEUR (SIMPLIFIE)

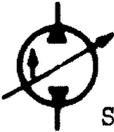
COMMANDES D'APPAREILS

	COMMANDE MANUELLE
	BOUTON - POUSSOIR
	LEVIER
	PEDALE A SIMPLE OU DOUBLE EFFET
	COMMANDE MECANIQUE (CAME, ARTICULATION, ETC.)
	RESSORT

SYMBOLE	DEFINITION
	ENCLIQUETAGE (LE TRAIT INDIQUE LE CRAN UTILISE)
	ELECTRO-AIMANT
	COMMANDE PAR DISTRIBUTEUR - PILOTE ACTIONNE DE L'INTERIEUR PAR APPLICATION DE PRESSION
	COMMANDE PAR DISTRIBUTEUR - PILOTE ACTIONNE A DISTANCE PAR APPLICATION DE PRESSION
	COMMANDE PAR DISTRIBUTEUR - PILOTE ACTIONNE DE L'INTERIEUR PAR BAISSSE DE LA PRESSION
	DISTRIBUTEUR-PILOTE ACTIONNE PAR DIFFERENCE DE PRESSION
	DISTRIBUTEUR-PILOTE D'ECHAPPEMENT D'AIR
	COMMANDE COMBINEE ET PAR ELECTRO-AIMANT ET DISTRIBUTEUR-PILOTE
	COMMANDE COMBINEE OU PAR ELECTRO-AIMANT OU COMMANDE PRIORITAIRE MANUELLE
	COMMANDE COMBINEE ET/OU PAR ELECTRO-AIMANT ET DISTRIBUTEUR-PILOTE OU COMMANDE PRIORITAIRE MANUELLE
	COMMANDE COMBINEE ET/OU PAR ELECTRO-AIMANT ET DISTRIBUTEUR-PILOTE OU COMMANDE PRIORITAIRE MANUELLE ET DISTRIBUTEUR-PILOTE

SOURCES D'ENERGIE OU DE PUISSANCE

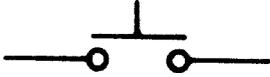
SYMBOLE	DEFINITION
	COMPRESSEUR A CYLINDRE FIXE
	POMPE A VIDE A CYLINDRE FIXE
	COMPRESSEUR A CYLINDRE VARIABLE
	RESERVOIR
	ACCUMULATEUR
 à l'air libre      sous-pression	RESERVOIR
 Au-dessus du niveau du liquide      Au-dessous du niveau du liquide	RESERVOIR A CONDUITE DE RACCORDEMENT
	ACCUMULATEUR A RESSORT
	ACCUMULATEUR HYDROPNEUMATIQUE
 Complet	POMPE A UN SEUL SENS DE FLUX, A CYLINDRE VARIABLE, NON COMPENSEE
 Simplifié	POMPE A DEUX SENS DE FLUX, A CYLINDRE VARIABLE, NON COMPENSEE

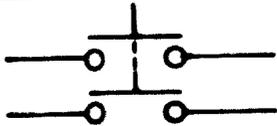
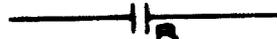
SYMBOLE	DEFINITION
 <p>Simplifié</p>	POMPE A DEUX SENS DE FLUX, A CYLINDRE VARIABLE, A COMPENSATION DE PRESSION
 <p>Simplifié</p>	POMPE-MOTEUR A UN SEUL SENS DE FLUX, A CYLINDRE FIXE, NON COMPENSEE
 <p>Complet</p>	POMPE-MOTEUR A DEUX SENS DE FLUX, A CYLINDRE VARIABLE, A COMPENSATION DE PRESSION
	RECHAUFFEUR (LES TRIANGLES INTERIEURS SYMBOLISENT L'APPORT DE CHALEUR)
	REFROIDISSEUR (LES TRIANGLES INTERIEURS SYMBOLISENT L'EVACUATION DE CHALEUR)

EQUIPEMENT SUPPLEMENTAIRE

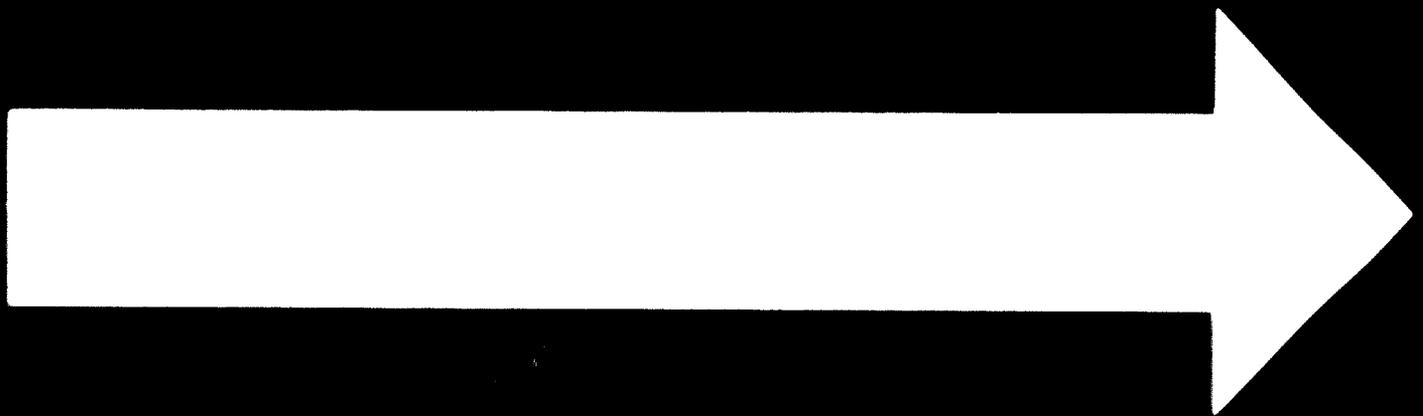
	MANOMETRE
	THERMOMETRE
	DEBITMETRE
	COMPTEUR TOTALISATEUR
	CONTACT A PRESSION

INTERRUPTEURS ELECTRIQUES

SYMBOLE	DEFINITION
	<p>INTERRUPTEUR A BOUTON-PRESSOIR OUVERT-OUVERT (OU FERME-FERME) (DE TRAVAIL)</p>
	<p>INTERRUPTEUR A BOUTON-PRESSOIR FERME-OUVERT (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE A CAME (DE TRAVAIL)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE A CAME (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE A FONCTIONNEMENT THERMIQUE (DE TRAVAIL)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE A FONCTIONNEMENT THERMIQUE (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE MANOMETRIQUE (DE TRAVAIL)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DE FIN DE COURSE MANOMETRIQUE (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR A FLOTTEUR (DE TRAVAIL)</p>
	<p>INTERRUPTEUR A FLOTTEUR (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR DEBITMETRIQUE (DE TRAVAIL)</p>

SYMBOLE	DEFINITION
	INTERRUPTEUR DEBITMETRIQUE (DE REPOS)
	INTERRUPTEUR A BOUTON-PRESSOIR, A LEVIER, BIPOLAIRE (DE TRAVAIL)
	BOBINE DE RELAIS
	CONTACTS DE RELAIS (DE TRAVAIL)
	CONTACTS DE RELAIS (DE REPOS)
	RELAIS TEMPORISE
	CONTACTS A RELAIS TEMPORISE (DE TRAVAIL)
	CONTACTS A RELAIS TEMPORISE (DE REPOS)

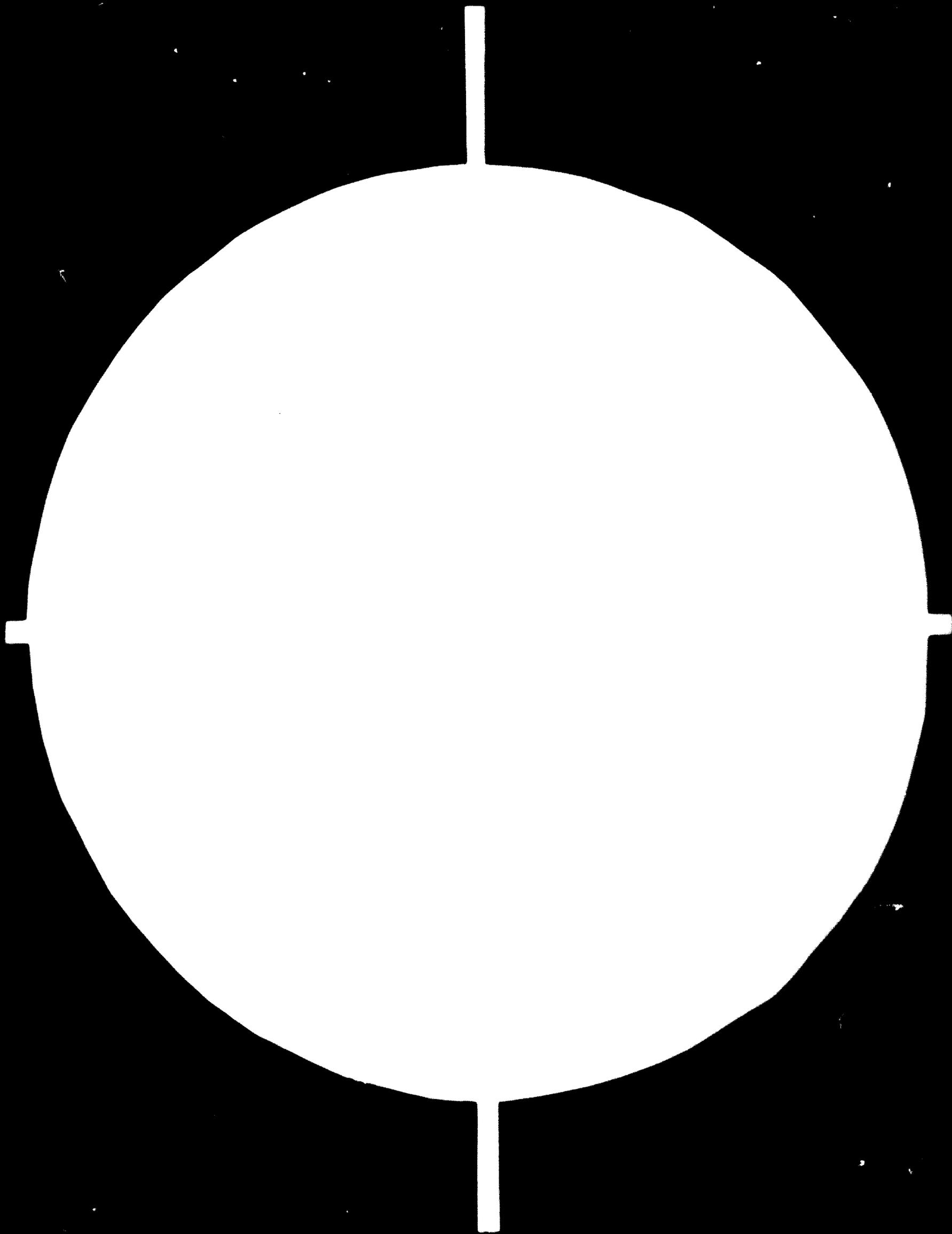
**J-376**



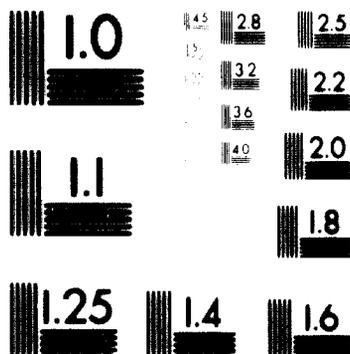
**84.04.03**

**AD. 85.03**

**ILL 5.5**



3 OF 3



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

24 x  
F

Annexe II

PRIX APPROXIMATIFS DE CERTAINS ELEMENTS PNEUMATIQUES

Les prix indiqués dans la liste ci-après sont les prix moyens et arrondis appliqués en 1981 par un certain nombre de fournisseurs d'Europe et du Japon. Ces chiffres sont approximatifs, car les prix ne varient pas seulement avec le temps, mais aussi selon le fournisseur et le type de fabrication (les éléments conçus pour des conditions de travail difficiles ou pour des opérations de haute précision sont plus coûteux). On pourra néanmoins s'en servir pour comparer les prix de différents éléments, ou les prix correspondant à des dimensions différentes d'un même élément.

Distributeurs de commande

	Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en millimètres)	Prix (en dollars)
<b>Distributeurs à 5 orifices et 2 positions</b>			
A bouton-presseoir avec ressort de rappel	1/8	3,2	28,80
	1/4	6,3	41,70
A levier, avec ressort de rappel	1/8	3,2	30,15
	1/4	6,3	46,60
A pédale, avec ressort de rappel	1/8	3,2	30,70
	1/4	6,3	46,90
	1/2	12,7	95,45
A encliquetage (poussée-traction)	1/8	3,2	28,80
	1/4	6,3	41,70
	1/2	12,7	76,80
A activateur pneumatique, avec ressort de rappel	1/8	3,2	60,35
	1/4	6,3	99,05
	1/2	12,7	198,10
	3/4	19,0	314,85
A double activateur pneumatique	1/8	3,2	54,40
	1/4	6,3	90,65
	1/2	12,7	181,35
	3/4	19,0	287,70
A électro-aimant, avec ressort de rappel	1/8	3,2	61,30
	1/4	6,3	102,65
	1/2	12,7	158,90
	3/4	19,0	193,40
A double électro-aimant	1/8	3,2	124,75
	1/4	6,3	146,45
	1/2	12,7	216,85

	Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en millimètres)	Prix (en dollars)
Distributeurs à 5 orifices et 3 positions	1/8	3,2	122,15
	1/4	6,3	183,20
	1/2	12,7	412,35
Distributeurs à 3 orifices et 2 positions			
A bouton-presseur, avec ressort de rappel	1/8	3,2	52,40
	1/4	6,3	84,85
	1/2	12,7	154,70
A levier (came), avec ressort de rappel	1/8	3,2	42,20
	1/8	3,2	52,35
	1/4	6,3	76,55
A encliquetage (poussée-traction)	1/2	12,7	140,82
	1/8	3,2	46,85
	1/4	6,3	80,20
A activateur pneumatique, avec ressort de rappel	1/2	12,7	128,35
	1/8	3,2	54,40
	1/4	6,3	98,35
A double activateur pneumatique	1/2	12,7	166,59
	1/8	3,2	81,90
	1/4	6,3	108,15
A électro-aimant, avec ressort de rappel	1/2	12,7	152,00
	1/8	3,2	102,40
	1/4	6,3	154,90
A double électro-aimant	1/2	12,7	199,85

Régulateurs de débit d'air

Régulateur de débit à une seule direction	1/8	3,2	12,45
	1/4	6,3	16,70
	1/2	12,7	36,10
	3/4	19,0	82,40
Soupape de retenue	1/8	3,2	11,40
	1/4	6,3	15,70
	1/2	12,7	22,00
	3/4	19,0	46,75
Sélecteur de circuit	1/8	3,2	16,50
	1/4	6,3	19,65

Filtre-régulateur de pression-lubrificateur  
(unités triples)

Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en millimètres)	Prix (en dollars)
1/2	12,7	103,95
3/4	19,0	149,55

Cylindres pneumatiques

	Dimension		Prix (en dollars)
	(en pouces) (équivalent)	(en pouces) (équivalent)	
A simple effet	3/4	19,0	16,50
	3/4	19,0	17,50
	1-1/4	31,7	25,00
	1-1/4	31,7	26,25
	1-3/4	44,4	41,50
	2-1/2	63,5	55,00
	2-1/2	63,5	50,8
A double effet (sans amortisseur)	1-1/4	31,7	32,65
	1-1/4	31,7	34,30
	1-1/4	31,7	36,90
	1-1/4	31,7	33,85
	2-1/2	63,5	65,00
	2-1/2	63,5	71,15
	2-1/2	63,5	77,35
	2-1/2	63,5	83,25
A double effet (avec amortisseur)	1-1/4	31,7	40,00
	1-1/4	31,7	42,00
	1-1/4	31,7	46,00
	1-1/4	31,7	48,00
	2-1/2	63,5	80,00
	2-1/2	63,5	88,00
	2-1/2	63,5	96,00
	2-1/2	63,5	103,00
A double effet et à haut rendement	4	101,6	162,00
	5	127,0	193,00
	6	152,4	258,00
	8	203,2	392,00
	10	254,0	827,00
	12	304,8	998,00

	Evaluation d'énergie (en tonnes par pouce à 80 psig)	Prix (en dollars)
Force de percussion	1/10	80,00
	1/4	125,00
	1/2	170,00
	1	355,00
	2	560,00

Divers

	Equipement	Prix (en dollars)
Table d'indexage rotative, diamètre de 10 pouces, à 4, 6, 8, 12 ou 23 positions		1 060,00

BIBLIOGRAPHIE

- Atlas Copco Tools. Automatic Systems Group. Automation technique. Stockholm, 1971.
- \_\_\_ Compressed air engineering. Stockholm, 1971. 361 p.
- Caldwell, Samuel H. Switching circuits and logical design. Londres, Wiley, 1958.
- Chronis, Nicolas P. Machine devices and instrumentation; mechanical, electro-chemical, hydraulic, thermal, pneumatic, pyrotechnica, photoelectric, optical. New York, McGraw Hill, 1966.
- Compressed Air and Gas Institute. Compressed air and gas handbook. New York, McGraw Hill, 1973.
- Deppert, W. and K. Stoll. Pneumatic application. République fédérale d'Allemagne, Vogel-Verlag, 1976 et 1979.
- Festo Didactic. Introduction to pneumatics. République fédérale d'Allemagne, 1978.
- Groot, Rijn de. Automation in developing countries. Quezon City, Philippines, Institute for Small-scale Industries, Université des Philippines, 1969, 69 p.
- Hedges, C.S. and R.C. Womack. Industrial fluid power. Dallas (Texas), Womack Machine Supply, 1965. 144 p. (v.1.)
- \_\_\_ Industrial fluid power. Dallas (Texas), Womack Machine Supply, 1966. 184 p. (v.2.)
- \_\_\_ Fluid power in plant and field. Dallas (Texas), Womack Machine Supply, 1968. 176 p.
- Hydraulics and Pneumatics Limited. Advanced pneumatic circuitry. Wolverhampton (Angleterre).
- \_\_\_ Solve your automation problems. Wolverhampton (Angleterre).
- Jordan Controls Inc. Industrial static switching handbook. Milwaukee (Wisconsin). 66 p.
- Packard, Charles A. Relay engineering. Philadelphie, Struthers-Dunn, 1945.
- Santiano, W.J. Low-cost automation electricity. Quezon City (Philippines), Institute for Small-scale Industries, Université des Philippines, 1969.
- Organisation des Nations Unies pour le développement industriel. Calculation of pneumatic systems for furniture and joinery industries. (By M. Kock and F. Lestuvke). 1979. (ID/WG.296/2).
- \_\_\_ Furniture industry technology. (By P. Paavola) 1973. (ID/WG.105/35/Rev.1)
- \_\_\_ Low-cost automation in the woodworking industries. (By Juha Haakava) 1973. (ID/WG.105/45).
- \_\_\_ Preliminary considerations in planning case good manufacturing industries. (By H. Reuter) 1979. (ID/WG.296/14).

L'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel a publié les études ci-après sur diverses utilisations du bois :

- 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 au 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 du 14 au 18 décembre 1970  
Publication des Nations Unies, Numéro de vente : F.72.II.B.4
- ID/108/Rev.1           Industries du meuble et de la menuiserie pour les pays en développement.  
Première partie : Matières premières  
Deuxième partie : Techniques de production  
Troisième partie : Considérations sur la gestion
- ID/133                  Choix des machines à utiliser pour le travail du bois. Rapport d'une réunion technique, Vienne, 19 au 23 novembre 1973
- ID/154/Rev.1           L'automatisation 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 au 7 novembre 1975
- ID/223                  Les adhésifs employés dans les industries de transformation du bois. Rapport des journées d'études. Vienne (Autriche), 31 octobre au 4 novembre 1977
- ID/247                  Critères techniques pour le choix des machines à travailler le bois
- ID/265                  Manuel de conception et d'utilisation des gabarits dans l'industrie du meuble
- ID/275                  Manuel des techniques de garnissage
- ID/188  
UNIDO/LIB/SER.D/  
4/Rev.1                UNIDO Guides to Information Sources No. 4: Information Sources on the Furniture and Joinery Industry
- 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

UNIDO/LIB/SER.D/36

UNIDO Guides to Information Sources No. 36: Industrial  
Maintenance and Repair

**J-376**



**84.04.03**

**AD. 85.03**

**ILL 5.5**