



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

FAIR USE POLICY

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

CONTACT

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

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

06948-F

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

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



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, 1976

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.

Préface

L'un des besoins les plus pressants de l'industrie du meuble et de la menuiserie dans les pays en développement est de moderniser son équipement et ses méthodes, afin de pouvoir répondre à la demande et de devenir vraiment compétitive. Cela suppose une amélioration de la qualité des produits, un abaissement des coûts de production, une production accrue (par exemple, pour le marché d'exportation) et une amélioration de la productivité par l'emploi d'une main-d'oeuvre plus qualifiée. Cela signifie aussi que de nouvelles techniques doivent être appliquées, sans toutefois que les dépenses en capital excèdent les limites que la plupart de ces pays ne peuvent dépasser.

L'automation à coût modéré (ACM) peut aider à résoudre ces problèmes. En général, le terme "automation" évoque des systèmes ultra-perfectionnés, 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 considérables. Nous espérons que le présent manuel aidera à rectifier ces idées erronées. Nous espérons aussi qu'il démontrera aux fabricants de meubles et aux entrepreneurs de menuiserie qu'ils peuvent bénéficier des avantages de l'automation dans le cadre de leurs installations actuelles et pour un coût relativement modeste, et que l'automation peut être installée par leur propre personnel sans qu'il soit besoin de remplacer les machines dont ils se servent.

Les chapitres I, II, III et peut-être IV intéressent principalement les chefs d'entreprises, tandis que les chapitres IV, V et VI sont surtout destinés aux techniciens et aux ingénieurs. Le chapitre VII vise tous ces lecteurs, quoiqu'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 qui souhaiteraient des informations plus détaillées.

Les points de vue et opinions exprimés dans ce manuel sont ceux des deux auteurs philippins auxquels l'ONUDI a confié la tâche de le préparer: M.W.J. Santiano, consultant en automation à

coût modéré, et M.H.P.Brion, expert en fabrication de meubles et en menuiserie. Ces vues ne correspondent pas nécessairement à celles du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

TABLE DES MATIERES

Chapitres	Page
I. L'AUTOMATION A COUT MODERE (ACM)	1
A. Définition générale de l'ACM	1
B. Pourquoi l'ACM est "à coût modéré"	2
II. CE QUE L'AUTOMATION A COUT MODERE PEUT AMELIORER ...	6
A. Qualité du produit	6
B. Utilisation de la main-d'oeuvre	9
C. Utilisation des matériaux	11
D. Utilisation des machines déjà en place	13
E. Sécurité	14
III. L'ANALYSE DES BESOINS EN AUTOMATION A COUT MODERE ..	6
A. Le point de vue du chef d'entreprise	16
Considérations économiques	16
Conditions techniques	17
Besoins en personnel	17
Compétences des cadres	18
B. Le point de vue de l'ingénieur	18
C. L'application de l'ACM par la méthode analytique: un exemple concret	27
D. Principes généraux de l'analyse des besoins ...	27
E. Besoins d'ACM propres à l'industrie du meuble et de la menuiserie	27
Manutention des matériaux	27
Mise en place	29
Serrage	29
Usinage	29
Montage	29
IV. LES PRINCIPAUX PROCEDES D'AUTOMATION A COUT MODERE •	30
A. Procédés mécaniques	31
B. Procédés pneumatiques	32
C. Procédés hydrauliques	37
D. Procédés électriques	40
E. Procédés électroniques	43
V. COMMENT CHOISIR LES ELEMENTS D'UN SYSTEME D'AUTOMATION A COUT MODERE	43
A. Eléments pneumatiques	45
Terminologie	45

Chapitres	Page
Eléments du système d'alimentation en air comprimé	46
Cylindres	55
Soupapes	63
B. Eléments hydrauliques	64
Eléments du système d'alimentation	64
Cylindres	66
Soupapes et tuyauterie	67
C. Elements électriques	68
Interrupteurs à bouton-poussoir	69
Contacteurs	70
Relais	75
D. Eléments électroniques	77
VI. POUR COMPRENDRE LE LANGAGE DE L'AUTOMATION A COUT MODERE	78
A. Symboles utilisés pour les éléments	78
Eléments pneumatiques et hydrauliques ..	
Eléments électriques	90
B. Schémas des systèmes de commande	91
Principaux systèmes de commande	91
Composition des systèmes de commande pneumatiques ou hydrauliques	91
Composition des circuits de commande électrique	95
VII. APPLICATION D'AUTOMATION A COUT MODERE: QUELQUES EXEMPLES	101
A. Presse à cadrer	101
B. Dispositif pour coller les placages sur chants	103
C. Dispositif de montage de cadres de porte	104
D. Machine pneumatique à clouer	107
E. Riveteuse pneumatique à percussion	109
F. Mécanisme d'alimentation pour raboteuse	111
G. Perçage automatique	113
H. Perceuse à colonne automatisée	117
I. Perçage automatique avec alimentation et éjection automatique	120
J. Perçage de trous de cheville	123
K. Mortaiseuse pour serrures	127
L. Opérations multiples sur table d'indexage	129
M. Encolleuse	130
N. Machines à entailler les cloisons de casiers à bouteilles	135
O. Machines à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision	138
P. Sélecteur d'épaisseur	142

Chapitres	Page
Q. Presse à refouler	144
R. Transporteur de retour	149
S. Défonceuse à contourner	150
T. Accessoire pour reproduire	151

Annexes

I. Quelques symboles normalisés de circuit	153
II. Prix approximatifs de certains éléments pneumatiques.	165
Bibliographie	170

I. L'AUTOMATION A COUT MODERE (ACM)

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'ACM

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 No 1).

B. Pourquoi l'ACM est "à coût modéré"

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.

L'ACM étant une notion relative, il est instructif de comparer les coûts de l'automation totale avec ceux de l'automation "intermédiaire". La comparaison illustrée dans la figure No 2 fait bien ressortir le principe de l'ACM. Avec une automation 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'automation totale, et qu'elle ne doit pas aller dans cette direction plus loin que cela n'est réellement nécessaire et économiquement justifiable.

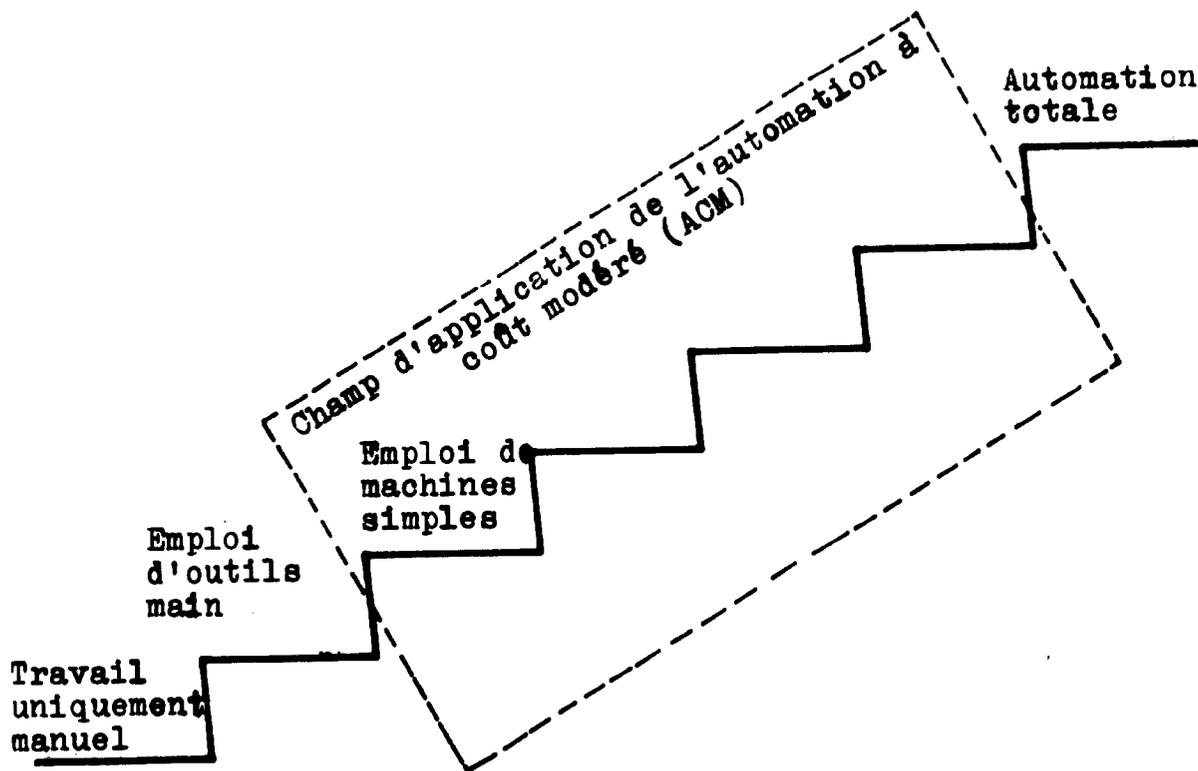


Figure 1. Place occupée par l'ACM dans la progression entre le travail purement manuel et l'automation totale.

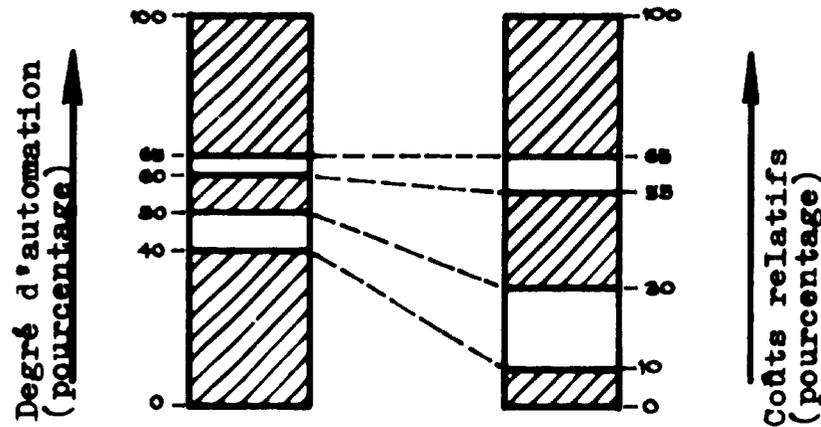


Figure 2. Coût relatif de l'automatation partielle.

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 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.

Équipement 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, minuteries, 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'automation 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 CÔT MODÈRE PEUT AMÉLIORER

L'automatisation 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 en matière de qualité du produit des problèmes extrêmement difficiles à résoudre. Qualifié ou non, le travailleur est sujet 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 à ce qui est strictement nécessaire et suffisant, peut donc contribuer pour beaucoup à l'amélioration de la qualité. L'ACM est applicable même aux opérations de maintenance, qui sont une cause fréquente d'accidents.

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 No 3 représente cette installation ^{1/}. 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.

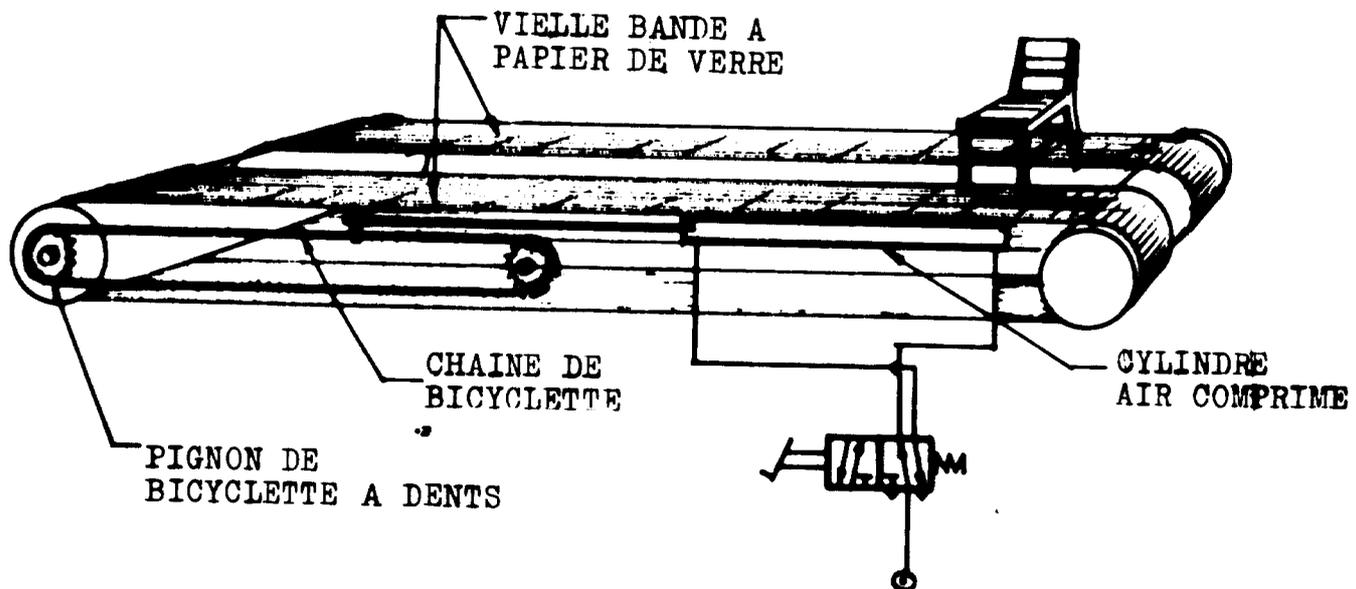


Figure No 3 : Transporteur à bande pour chaises

Coût de l'ensemble: 50 dollars ^{2/}

Dans la même fabrication de meubles, les chaises devaient être manipulées à la main par les tapissiers chargés de les recouvrir. Ce travail était fatiguant 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 manipula-

^{1/} 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.
^{2/} Les dollars doivent s'entendre en dollars des Etats-Unis.

teur en forme de C qui tient la chaise pendant qu'elle est recouverte par le tapissier. La figure No 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.

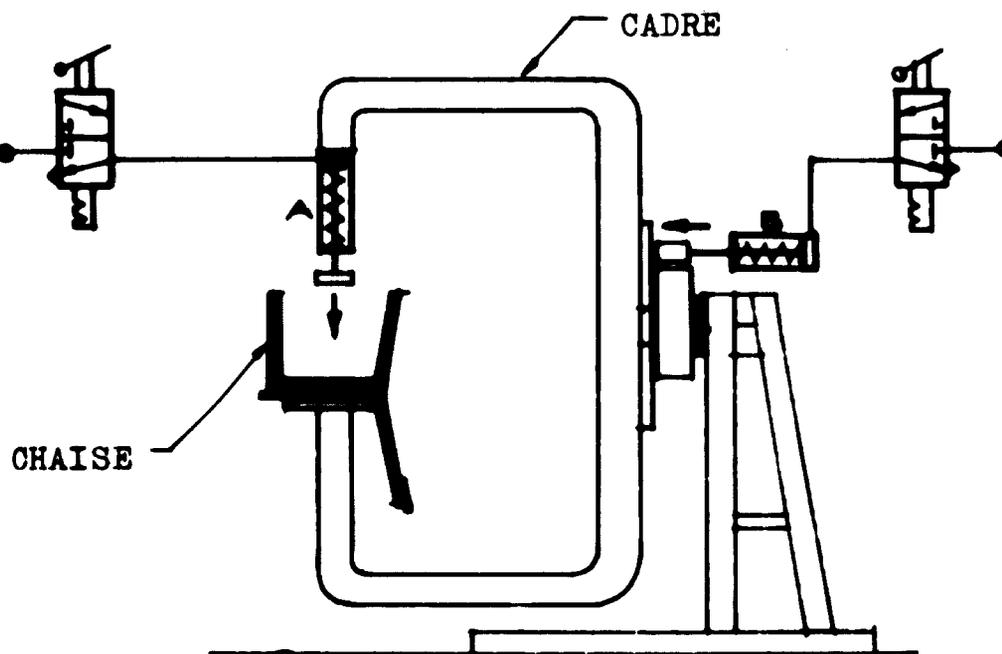


Figure No 4 : Manipulateur de chaise.

Ce manipulateur, qui revient à environ 140 dollars, ne résout pas seulement le problème de la qualité, mais permet aussi de tripler la capacité de production.

On trouvera au chapitre VII, dans les sections A, H, K, M, N, O, P et Q, d'autres exemples d'amélioration de la qualité au moyen de l'ACM.

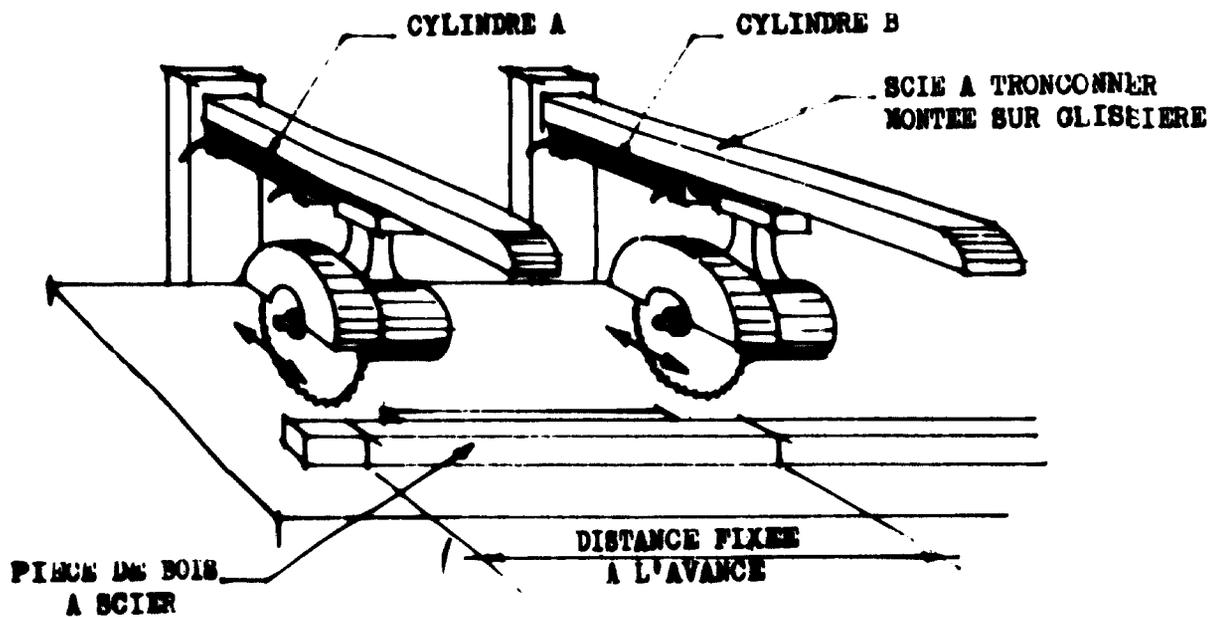
B. Utilisation de la main-d'oeuvre

Dans beaucoup de manufacturiers 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.

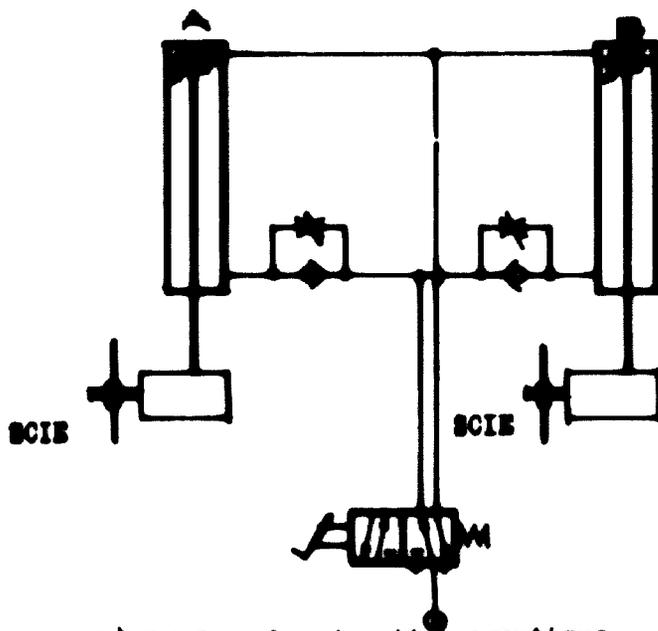
Dans une menuiserie, le bois scié était débité selon certaines dimensions standards. L'opération exigeait que l'on prit particulièrement soin de la longueur de la pièce et de la qualité du tronçonnage, car une erreur, même légère, risquait d'entraîner, soit la mise au rebut de la pièce, soit un travail 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 No 5a) montre les deux scies à glissière, assorties de cylindres à air comprimé, et la figure Vb) décrit le circuit pneumatique de façon simplifiée. Quand l'opérateur presse du pied 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 10 dollars par semaine dans la menuiserie en question.

Coût total des éléments: 100 dollars.



a) Vue générale de l'installation



b) Schéma du circuit pneumatique

Figure No 5 : Installation ACM de tronçonnage

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 No 6 montre comment on a appliqué l'ACM dans ce cas. Le sommet de table est placé verticalement sur une plateforme 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 220 dollars, récupérés en huit mois grâce aux économies en vernis (15%).

On trouvera au chapitre VII, sections M et P, d'autres exemples d'économie de matériaux grâce à l'ACM.

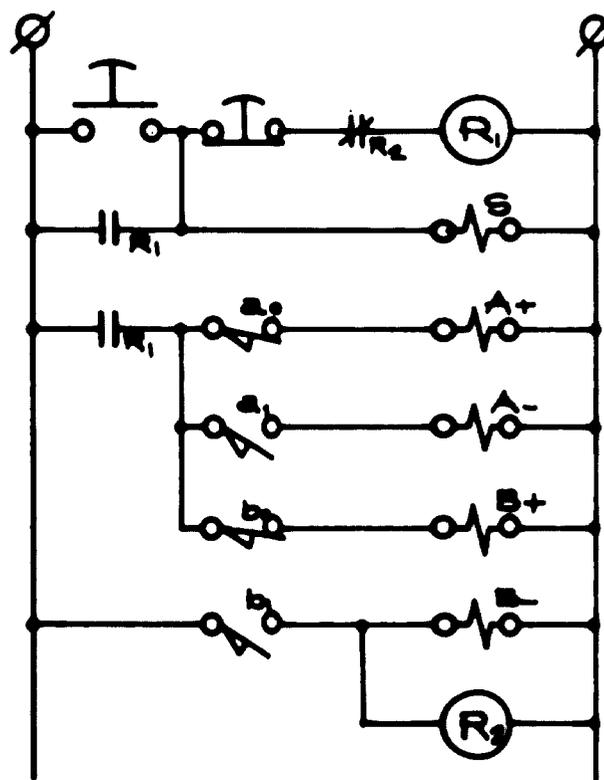
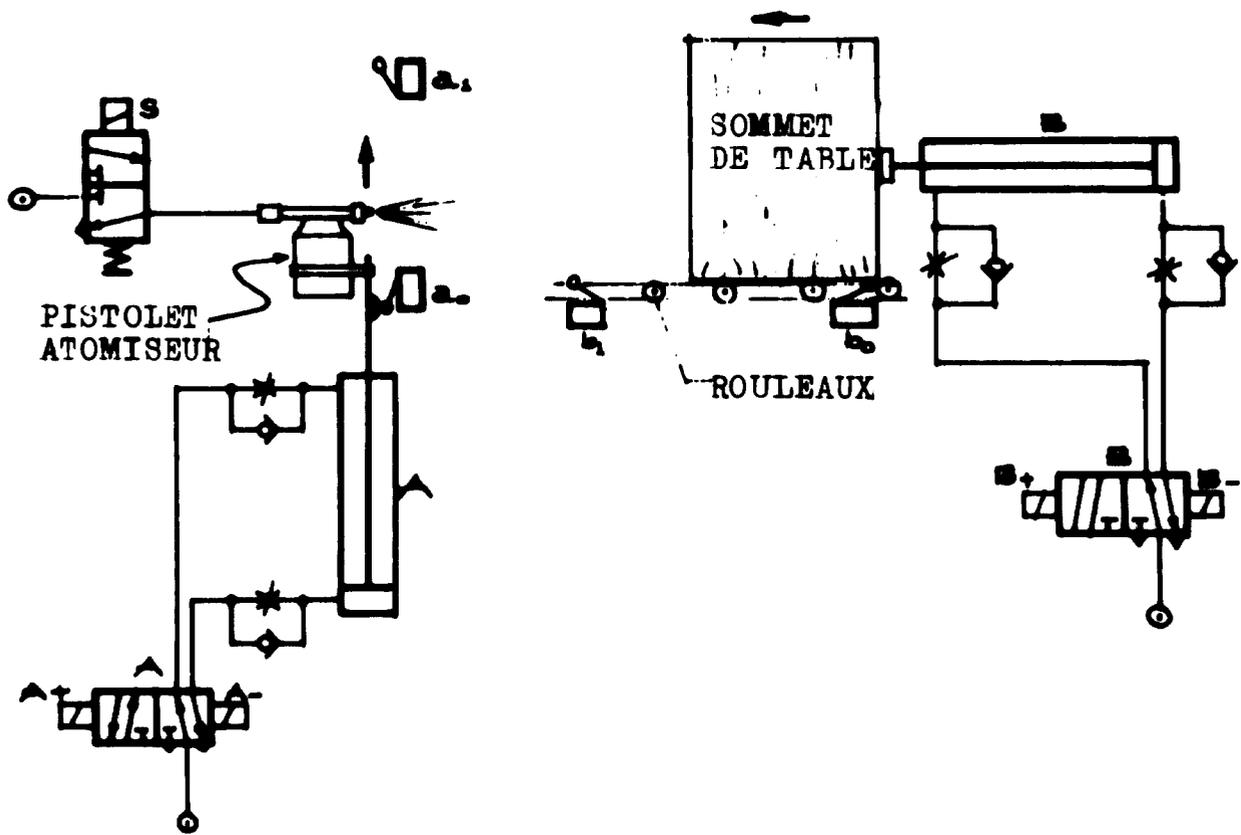


Figure No 6 : Atomiseur automatique sur rouleaux

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 No 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 les 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 No 8 : 80 dollars environ.

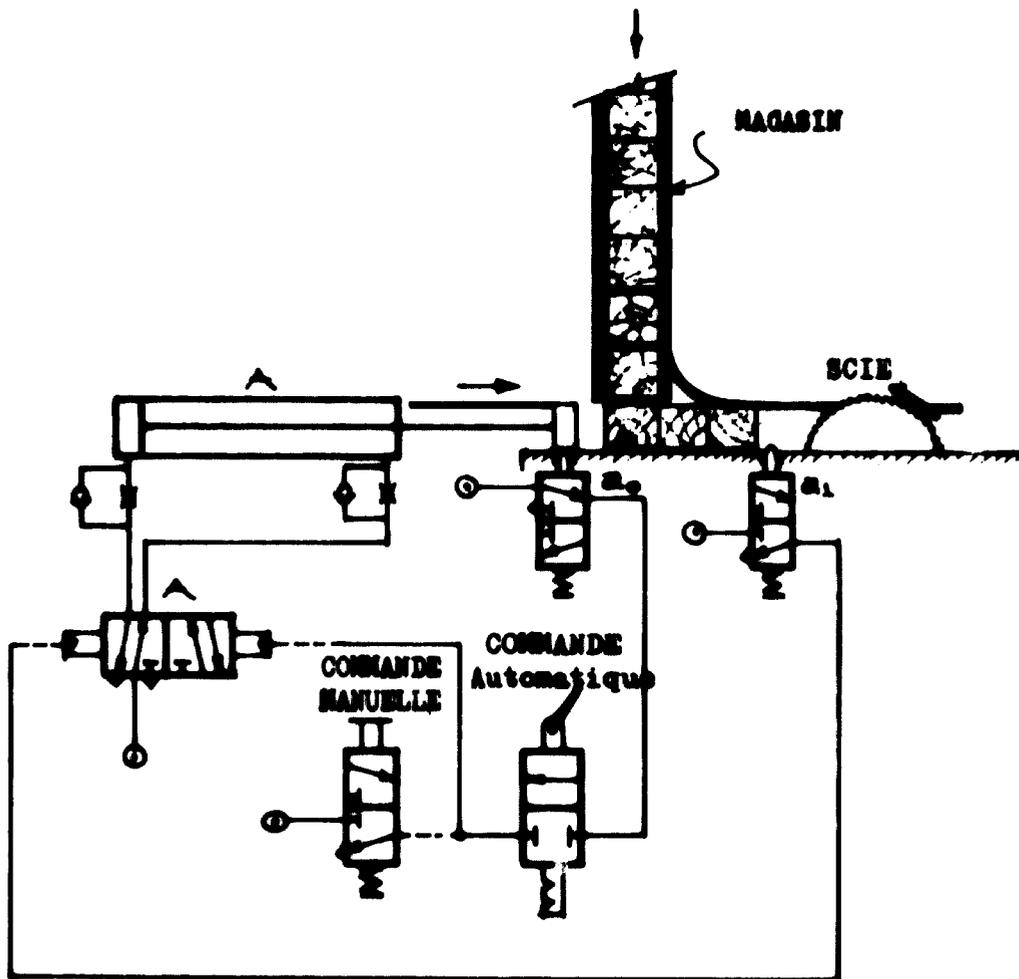


Figure No 8 : Alimentateur pour scie à table

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, et 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.

$$I \left[\frac{nN}{1 + \frac{i}{200} (n + 1)} \right] \left[\left(\frac{Q_2}{Q_1} - 1 \right) \left(m + w \left(1 + \frac{p}{100} + v_1 \right) + v_1 - v_2 \right) \right]$$

- 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
- Q1= Production horaire avant l'ACM
- Q2= 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)
- V1= Coût horaire variable du matériel au taux de production Q1
- V2= Coût horaire variable du matériel au taux de production Q2

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'automatisation dans une entreprise, de commencer par en améliorer la direction. Lorsque la "pagaille" règne dans le personnel directeur avant l'introduction de l'automatisation, celle-ci aura un seul résultat: une pagaille automatisée. En d'autres termes, l'automatisation 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'automatisation 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'automatisation. Les entreprises ne disposant pas de cadres suffisants doivent commencer par le type d'automatisation le plus simple, et avancer progressivement vers des types d'automatisation 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'automatisation, c'est-à-dire de déterminer le degré précis d'automatisation 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 que l'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 No 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 No 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.

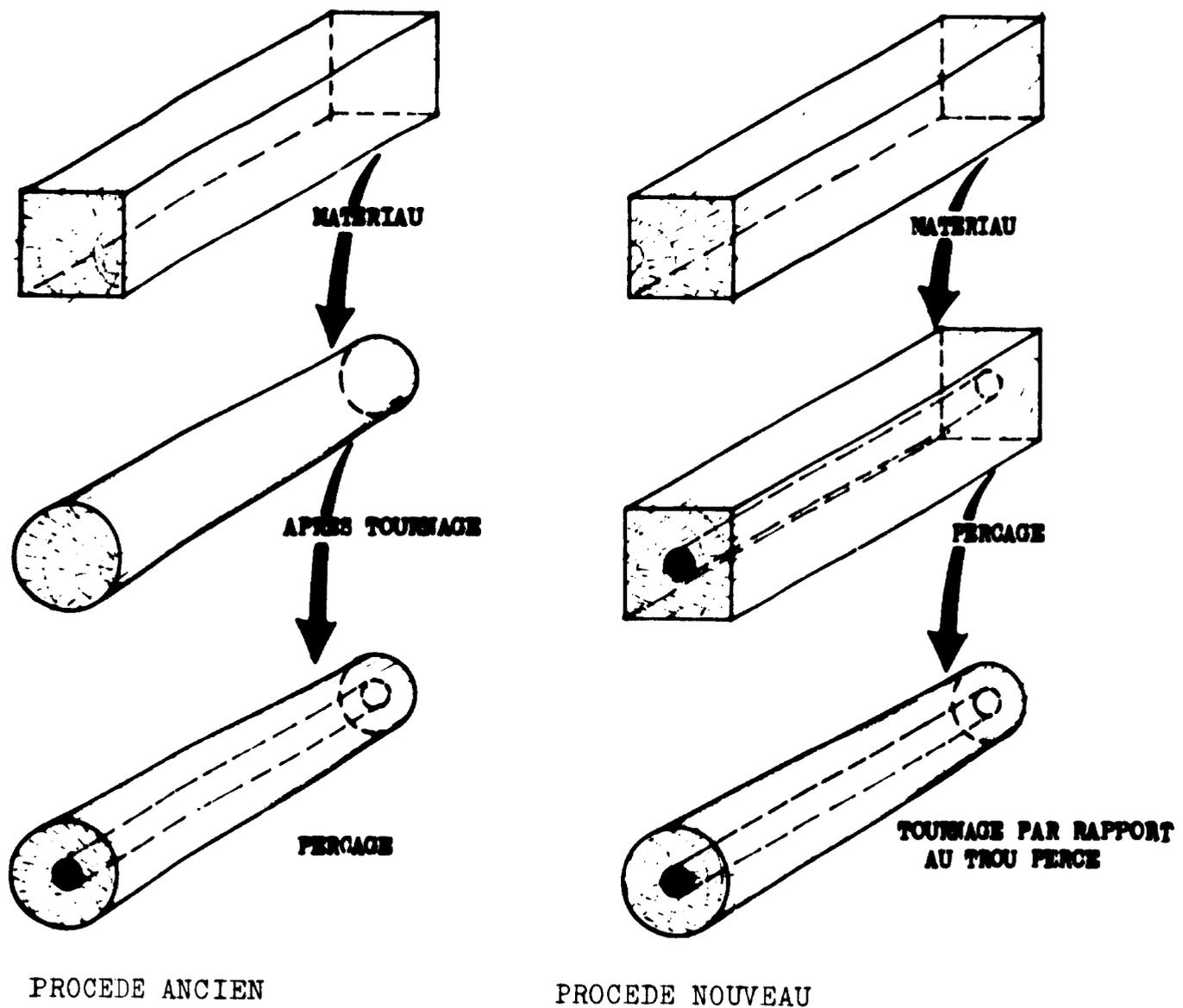


Figure No 9 : Comparaison entre deux procédés de fabrication de pieds de lits en bois. Le nouveau procédé permet un perçage centré avec exactitude beaucoup plus facilement que le procédé ancien, et élimine tout besoin d'automation.

Parfois, c'est la gamme des produits qui doit être réduite. L'automation 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.

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'automatisation. 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.

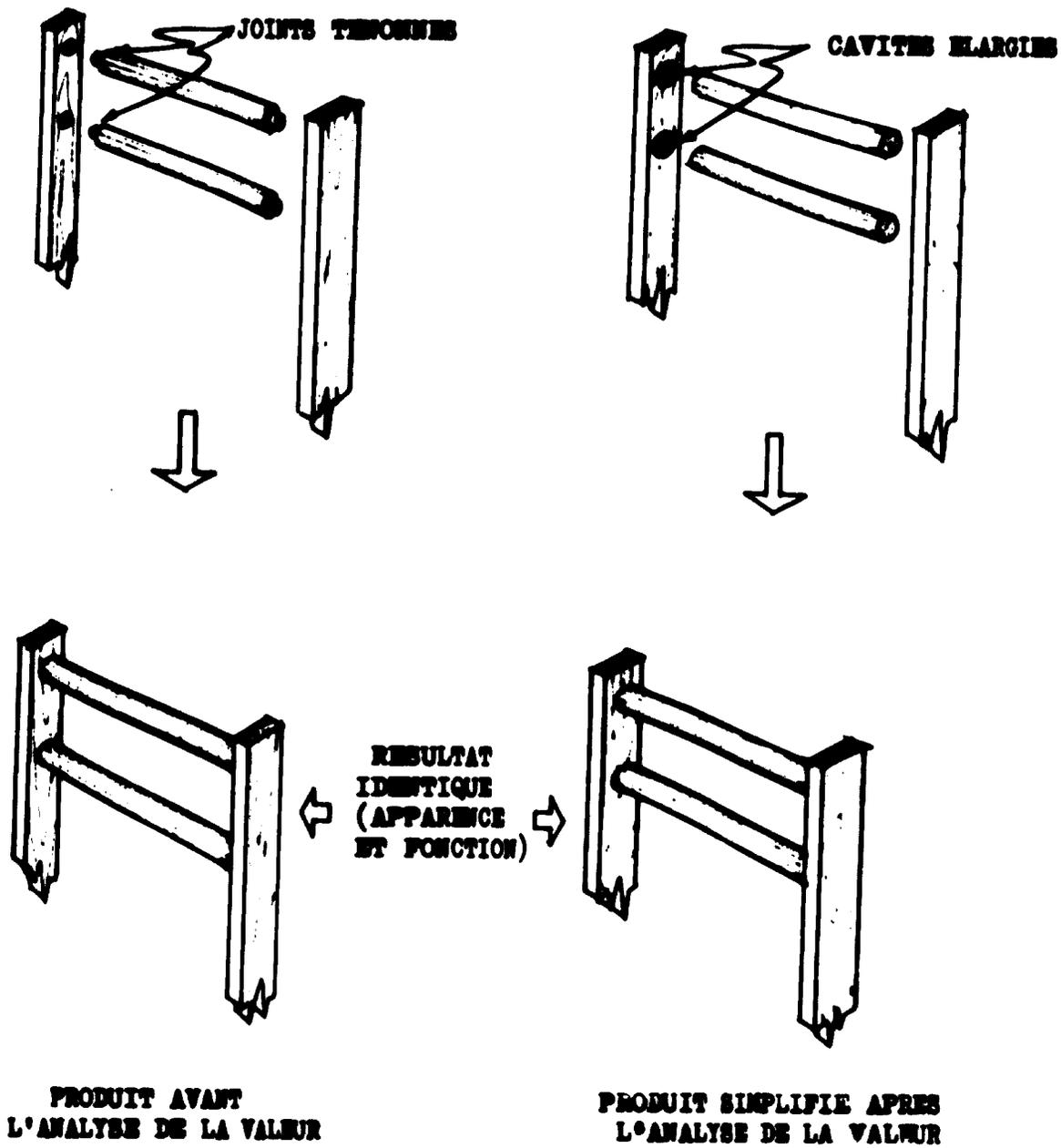


Figure No 10 : Simplification du produit par analyse de la valeur.

C. L'application de l'ACM 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 \$ 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 : 6 dollars
2. Acheter une tenonneuse
Augmentation du rendement: 800%
Coût fixe de la machine: 200 dollars par an
Coût variable (personnel, entretien et électricité):
0,09 dollar par cadre

3. Confier l'opération de tenonnage à un sous-traitant
Coût (pour une quantité maximum de 200 cadres par
jour): 0,08 dollar par cadre

Le plan No 1 n'était pas satisfaisant: malgré certaines améliorations, l'opération de tenonnage serait restée un goulot d'étranglement. Le No 2 était beaucoup plus tentant: comme on évaluait le coût du tenonnage à 0,89 dollar par cadre, le seuil de rentabilité de la machine serait de $200 / (0,89 - 0,09) = 250$ cadres par an, soit très au-dessous du rendement prévu. Cependant, le coût initial de la machine (1000 dollars) aurait posé des problèmes de trésorerie à l'entreprise, qui était de taille limitée. C'est donc le plan No 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 20 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 VII, 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 soustraitant 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 VII, 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 VII, 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.

Commencant 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 soie le cylindre pneumatique décrit dans la figure No 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. L'adaptation du procédé décrit au chapitre VII, section I, permet d'augmenter de plus de 100% le rythme des opérations de mortaisage.

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'ACM 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 VII, 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 défonçage 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.

Montage:

Les opérations de montage peuvent elles aussi être facilitées par l'ACM. On en a déjà vu un exemple dans la figure No 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 No 11). En les combinant, les ingénieurs spécialistes peuvent maintenant concevoir des systèmes perfectionnés, englobant même la commande des opérations.

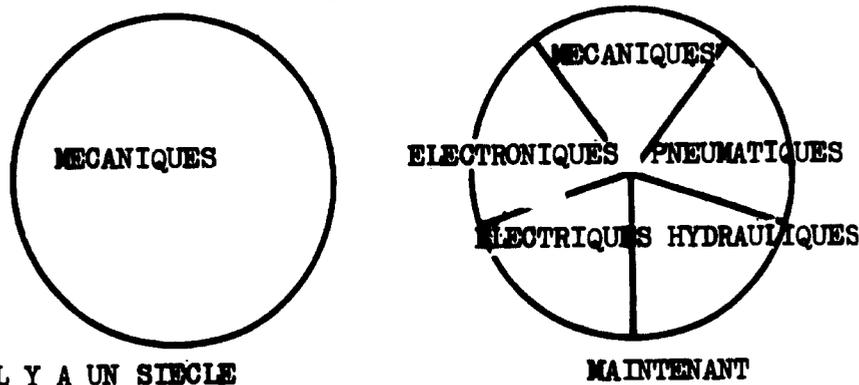


Figure No 11 : Types de procédés applicables à l'automation

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 No 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.

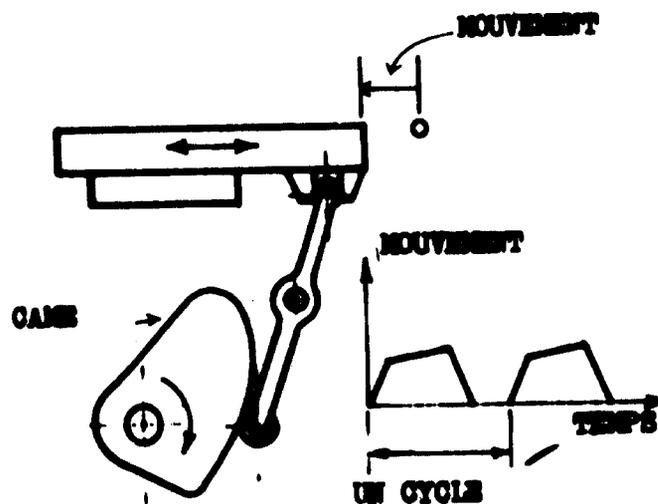


Figure No 12 : Direction mécanique à cames

- 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 No 14), et c'est généralement la solution la meilleure quand elle peut être retenue.

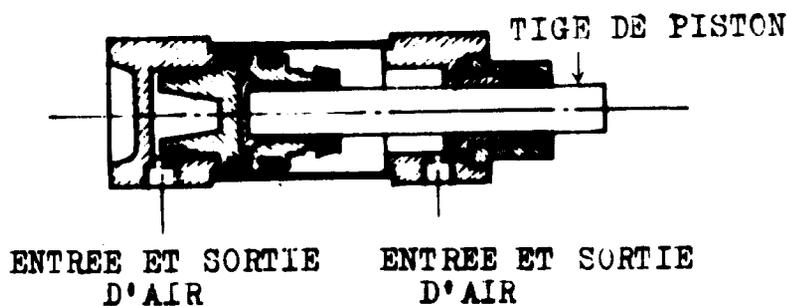


Figure No 14 : Cylindre pneumatique à double effet

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 No 15.

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 No 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.

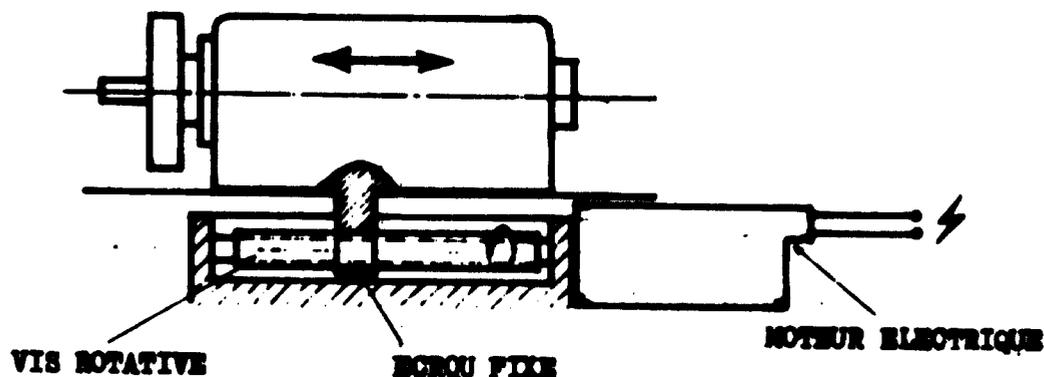


Figure No 13 : Conversion d'un mouvement circulaire en un mouvement rectiligne

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

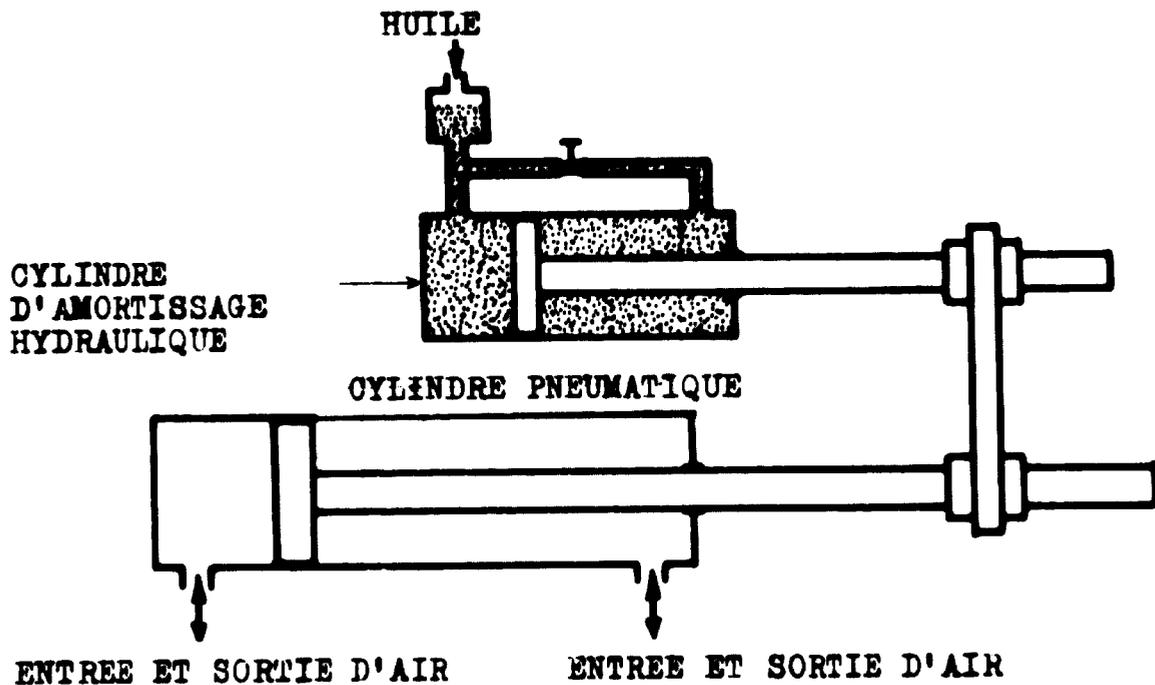


Figure No 15 : Cylindre pneumatique à double effet, avec cylindre parallèle d'amortissage hydraulique

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 No 16 a deux ou trois positions distinctes. Il est actionné à la main ou par un procédé mécanique, électrique ou pneumatique, selon le cas.

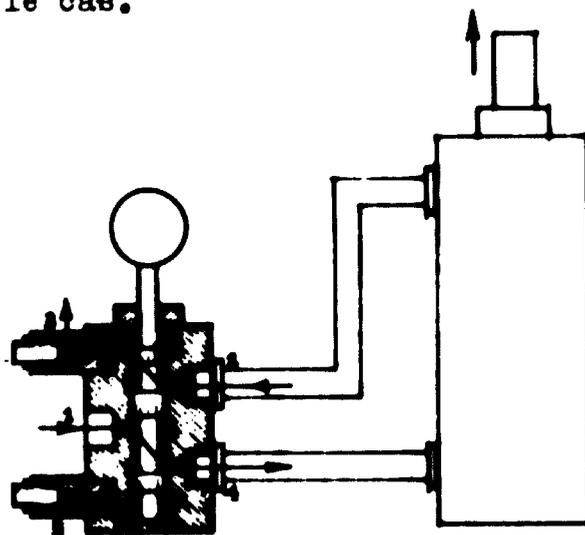


Figure No 16 : Distributeur à trois sens de flux

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 la dite force (voir figure No 17)

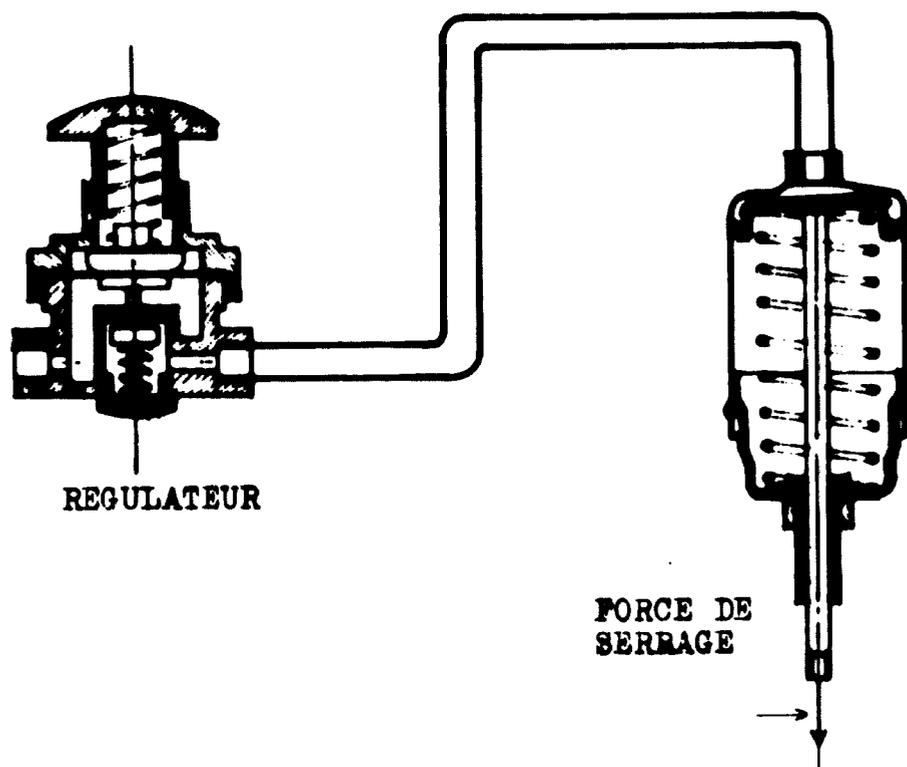


Figure No 17 : Cylindre à simple effet, avec régulateur de pression pour opération de serrage.

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'automatisation 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 atmosphères (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.

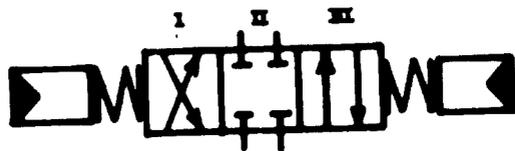
Les systèmes hydrauliques nécessitent une pompe spéciale

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.

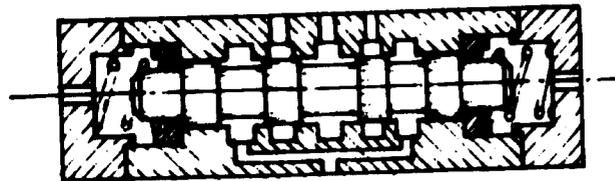
Les engins utilisés pour produire un mouvement de va-et-vient sont également des cylindres, comme dans les systèmes pneumatiques. Le cylindre est commandé par un distributeur hydraulique, qui envoie l'huile vers l'une ou l'autre face du piston. Ce distributeur peut être actionné comme les distributeurs 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 No 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.

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 No 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.



Vue en coupe



Symbole schématique

Figure No 18: Distributeur hydraulique à trois positions

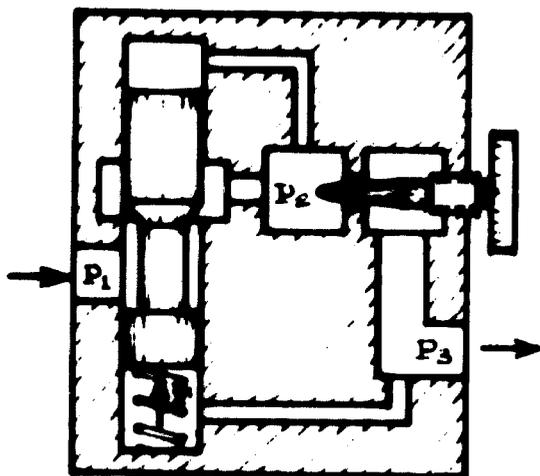


Figure No 19 : Distributeur hydraulique à débit constant

Un autre procédé de réglage de la vitesse, plus coûteux, consiste à utiliser une pompe à cylindrée variable (voir figure No 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.

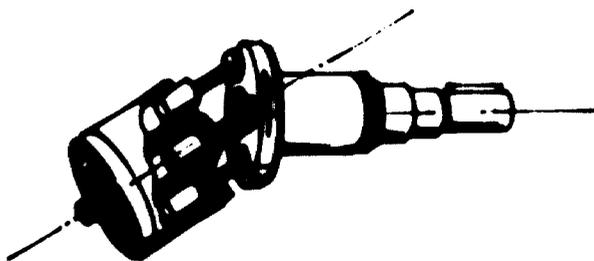


Figure No 20 : Pompe hydraulique à cylindrée variable

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) Autograissage 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 No 13. Pour les mouvements rectilignes courts, on peut se servir d'une bobine magnétique imprimant le mouvement voulu à une pièce en fer (voir la figure No 21).

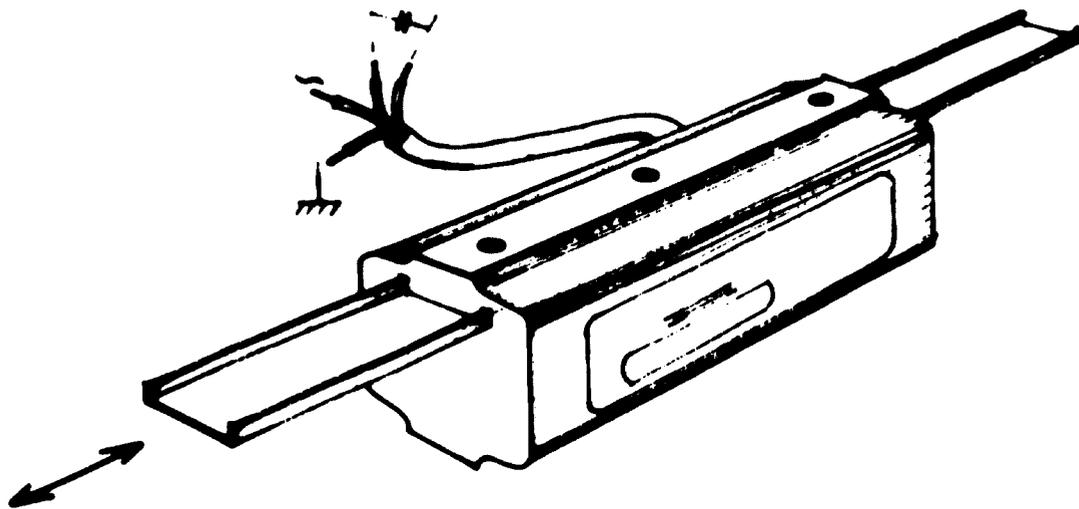


Figure No 21 : Bobine magnétique pour mouvements rectilignes courts

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 électromécanique composé de contacts électriques qui sont séparés ou mis en communication par un électro-aimant (figure No 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.

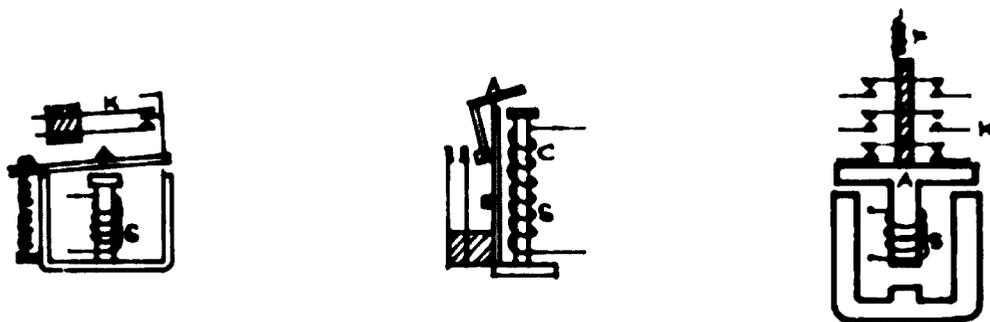


Figure No 22 : Relais électrique

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 temporelle).

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'AUTO-MATION 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 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 cm^3 . Quelle est la pression finale? Si l'on désigne par i et f les phases "initiale" et "finale" on obtient:

$$P_i V_i = P_f V_f$$

$$P_f = P_i V_i / V_f = (V_i / V_f) P_i$$

$$= (283/41) P_i = 6.9 P_i$$

$$= 6.9 \text{ atm, ou } 103 \text{ livres par pouce carré (psi)}$$

$$(P_i = 1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi}).$$

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 atmosphère, la formule peut être simplifiée comme suit: $r = P + 1$.

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 ($V_1 = rV_f$).

Eléments 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 dégagee 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 atmosphères. Les pressions inférieures à 5 atmosphères sont insuffisantes pour certains travaux, tandis que les pressions supérieures à 15 atmosphères 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 $14m^3/min$ (500 cfm) d'air libre déplacé. Son rendement est de 88%. Quel est son débit d'air libre?

$$\begin{aligned}\text{Débit d'air libre} &= (\text{air libre déplacé}) \times \\ &\quad (\text{rendement}) \\ &= 14 \times 88/100 \\ &= 12.46 m^3/min (440 cfm)\end{aligned}$$

La figure No 23 indique l'énergie théoriquement requise par les compresseur à un étage et à deux étages pour fournir une unité volumétrique d'air à un coefficient de compression donné. Il n'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.

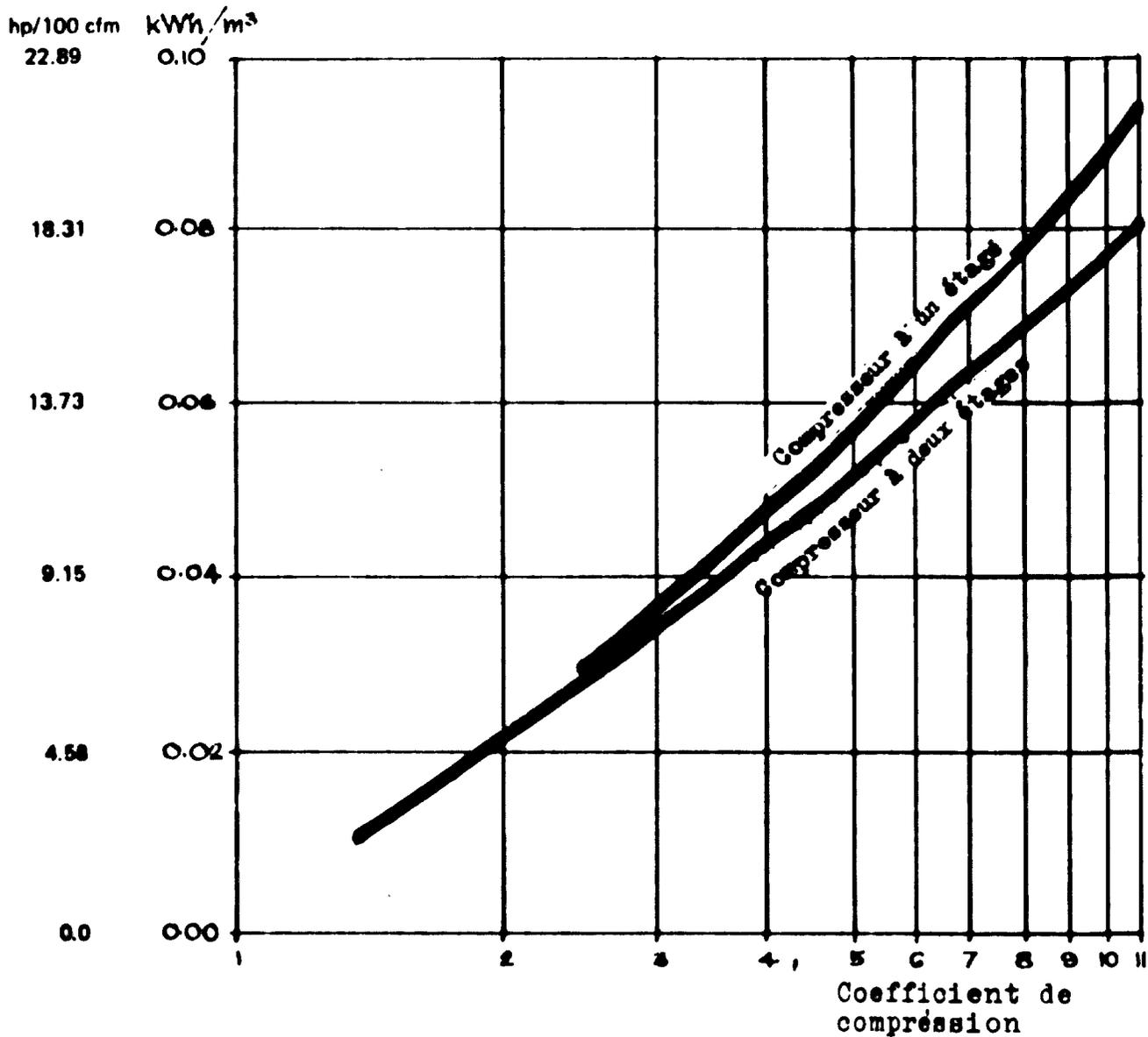


Figure No 23 : Consommation d'énergie théorique pour la compression de l'air

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

systeme de consommation constante. Pratiquement, il vaut mieux employer un reservoir plus grand, afin de pouvoir faire face aux variations eventuelles de la consommation.

$$V_p = AQ/r$$

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

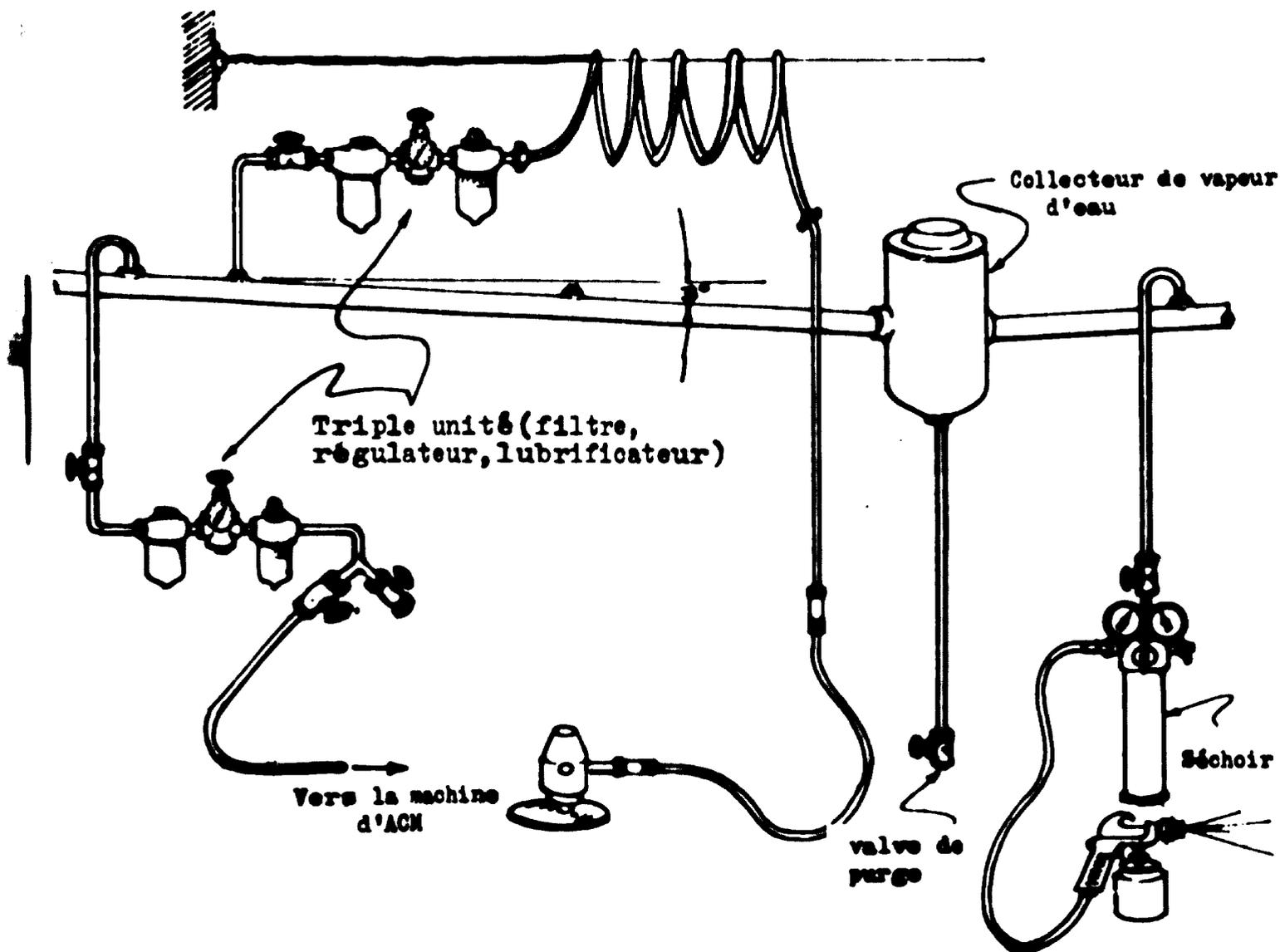


Figure No 24 : Systeme de tuyauterie pour air comprimé

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 3° 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 No 24 montre un système de tuyauterie conforme aux règles énoncées ci-dessus.

Pour des pressions allant jusqu'à 12 atm, 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 No 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, $0,7 \text{ m}^3/\text{min}$ ($25 \text{ cu ft}/\text{min}$) d'air comprimé peuvent être transportés à une distance de $45,7 \text{ m}$ (150 pieds) en utilisant une conduite d'un diamètre intérieur de $20,9 \text{ mm}$ ($0,824 \text{ pouce}$). Si la distance totale est de plus de $45,7 \text{ m}$ (150 pieds), on utilisera sur toute la distance une conduite de $26,6 \text{ mm}$ ($1,049 \text{ pouce}$).

Si le débit n'est pas connu, on utilisera la puissance du compresseur en chevaux-vapeur (2^{ème} colonne) pour faire le même calcul. Pour les débits qui ne sont pas prévus dans ce tableau, on partira de l'hypothèse que chaque unité de puissance du

compresseur produit $0,1 \text{ m}^3/\text{min}$ (3,5 ou ft/min). Ce calcul ne peut être qu'approximatif, car 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 RECOMMANDÉES POUR LES SYSTÈMES DE DISTRIBUTION D'AIR COMPRIMÉ

Débit		Puissance du compresseur en chevaux vapeur	Longueur						
en cuft /min	en m^3		25	50	75	(en pieds)		250	300
					100	150	200		
			7.6	15.2	22.8	(en mètres)		76.2	91.3
						30.5	45.7	61	
5 or less	0.14 or less	1.4	0.622						
			(15.8)						
10	0.28	2.8	0.622			0.824			
			(15.8)			(20.9)			
15	0.43	4.3	0.622	0.824					
			(15.8)	(20.9)					
20	0.56	5.6	0.824						
			(20.9)						
25	0.70	7.0	0.824				1.049		
			(20.9)				(26.6)		
30	0.85	8.5	0.824				1.049		
			(20.9)				(26.6)		
35	1.0	10.0	0.824	1.049					
			(20.9)	(26.6)					
40	1.12	11.2	0.824	1.049					
			(20.9)	(26.6)					
50	1.40	14.0	1.049						
			(26.6)						
70	2.0	20.0	1.049				1.300		
			(26.6)				(33.0)		

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 manogramme de baisse de pression reproduit dans la figure No 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 $10 \text{ m}^3/\text{min}$ ($353,1 \text{ cu ft}/\text{min}$) dans une conduite de 70 mm de diamètre (2 pouces 76) et de 200 m de long (660 pds). Si la pression initiale à l'entrée de la conduite est de 7 bars (101,5 psi), 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 (1,45 psi). La pression d'air effectivement débitée sera donc de $7 - 0,1 = 6,9 \text{ bars}$ (100 psi). 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 minimum, 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 traite-

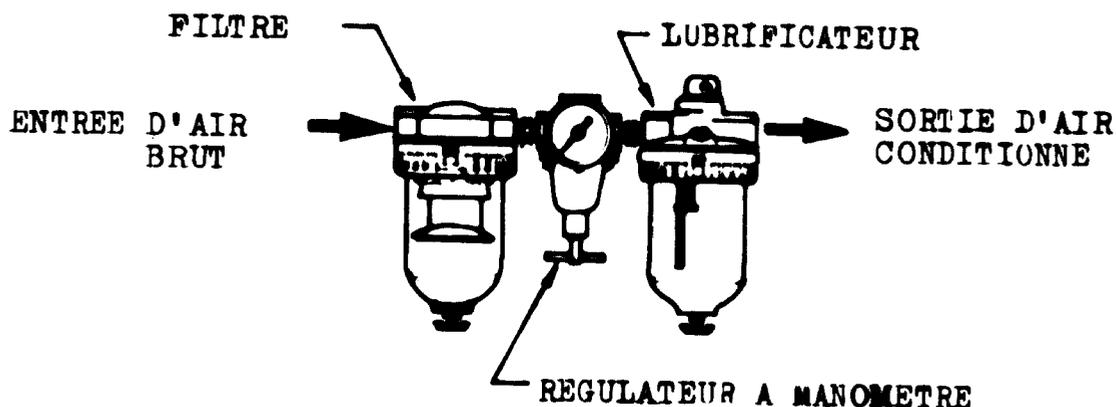


Figure No 26 : Triple unité: Filtre, régulateur et lubrificateur

1) Filtre-sécheur. Cet élément collecte l'excès de vapeur d'eau et les impuretés contenus 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.

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 dm³ (20 cu ft) 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 No 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 No 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.

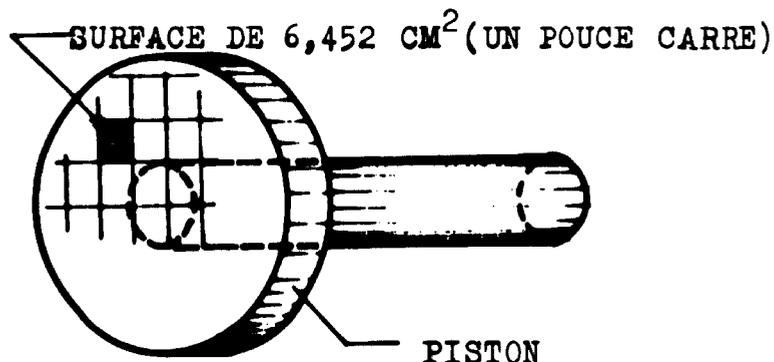


Figure No 27: Surface réelle de la face du piston

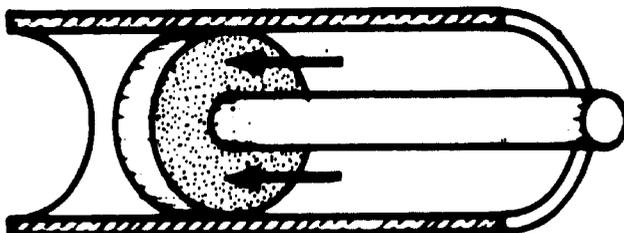


Figure No 28: Surface réelle de pression de la face du piston liée à la tige

Les forces de compression et de traction des cylindres à air comprimé d'un alésage de 25 à 200 mm (0,98 - 7,87 pouces) selon la pression à obtenir, sont indiquées dans le tableau de la figure No 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 No 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 5,444 atmosphères (80 psi). D'après le tableau de la figure No 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.

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, multiplié 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 cylindre 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 No 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.

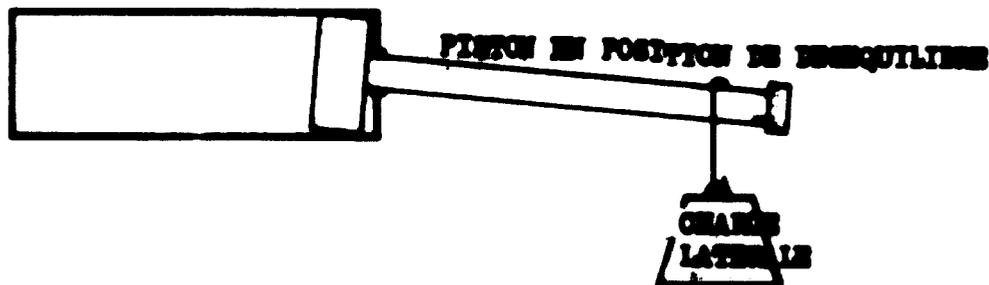
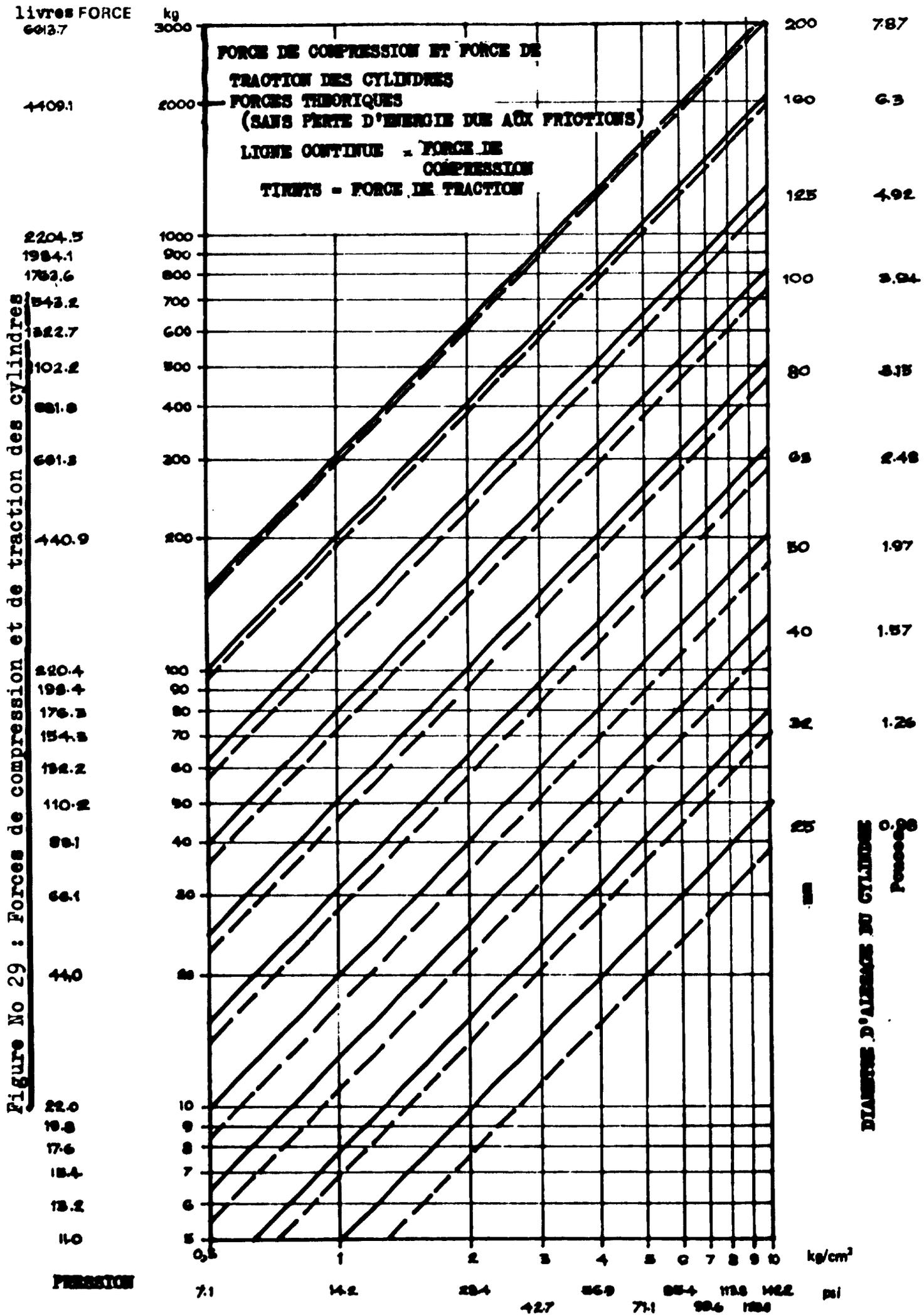


Figure No 31 : Résultat de forces latérales sur un piston



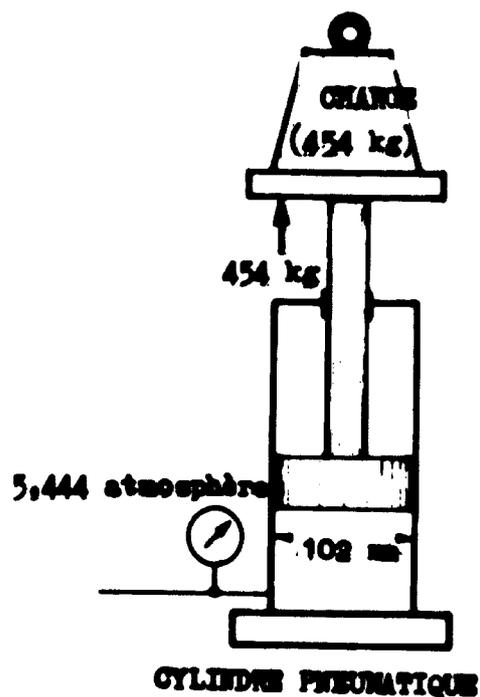


Figure No 30 : Equilibre force-charge d'un cylindre pneumatique

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 contre-poids, 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 No 32). Le tableau de la figure No 33 peut servir de guide pour choisir le diamètre de tige qui convient en fonction de la longueur de course du piston.

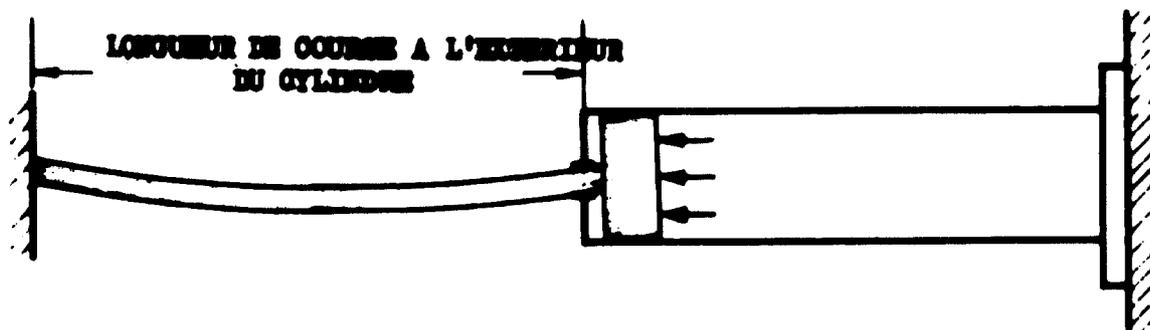


Figure No 32 : Flambage de la tige

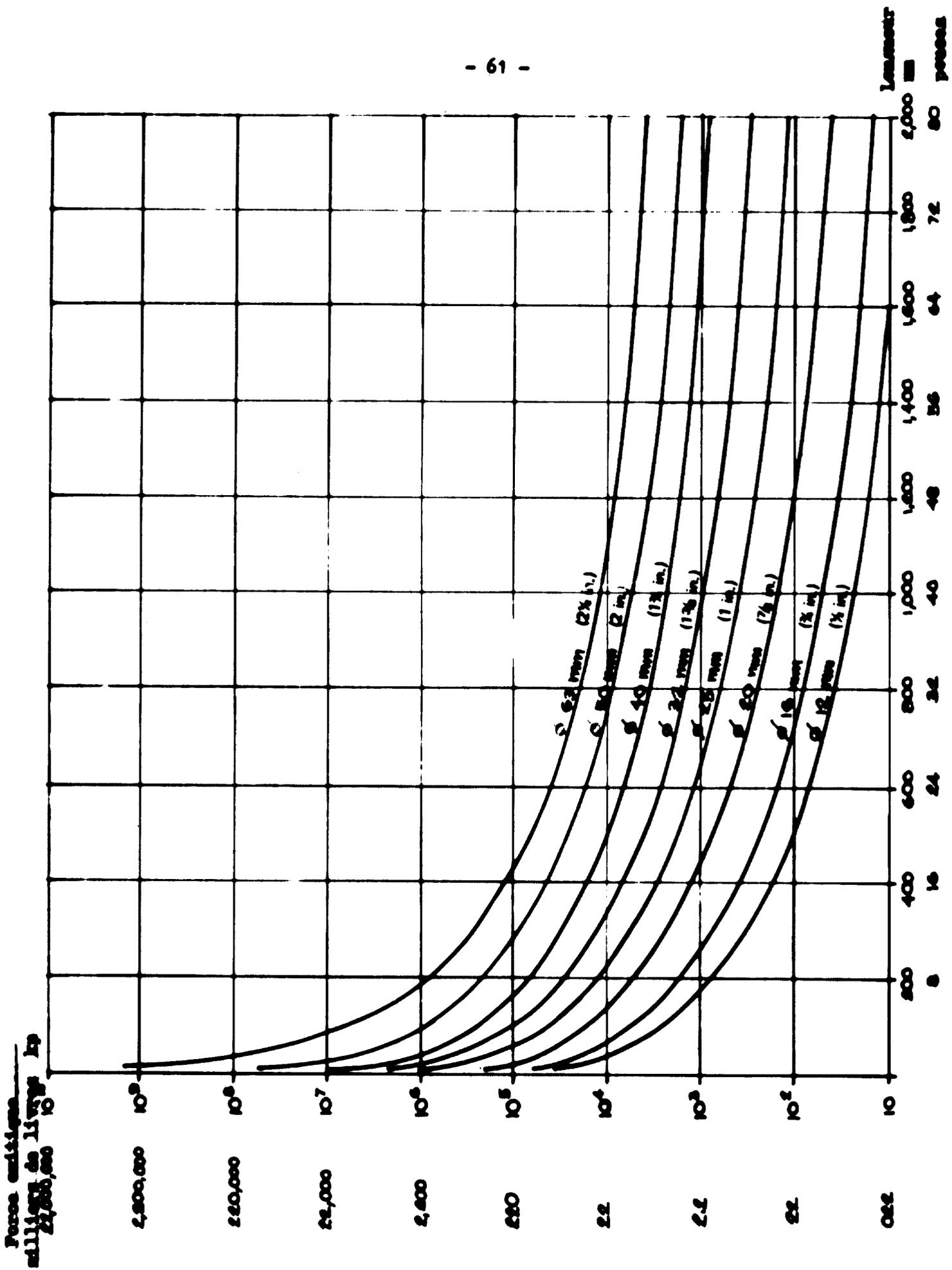


Figure No 33: Diamètre minimum de la tige pour éviter le flambage

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.

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 cm^3 (44 cu in.).
Quelle est la consommation d'air libre pour une pression manométrique $p = 4,08 \text{ atm}$ (60 psig.).

$$\begin{aligned} \text{Coefficient de compression } r &= P + 1 = 5,08 \\ \text{Déplacement d'air libre} &= rx \text{ (déplacement d'air} \\ &\quad \text{comprimé)} \\ &= 5,08 \times 721 \\ &= 3\,663 \text{ cm}^3 \text{ (0,13 cu ft)} \end{aligned}$$

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 $0,2 \text{ kg/cm}^2$ (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 affectant 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%.

Amortisseur (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 No 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.

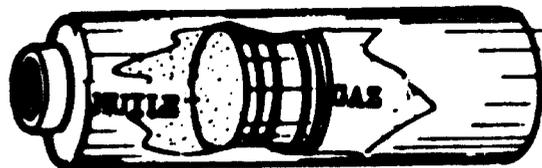


Figure No 34 : Accumulateur du type "piston"

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 No 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.

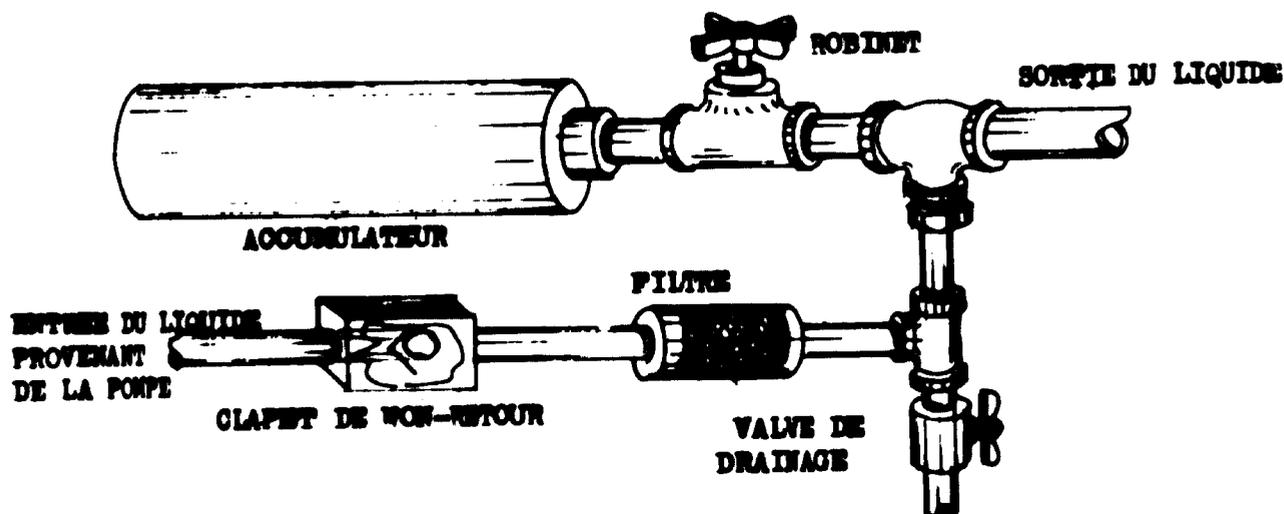


Figure No 35: Méthode proposée pour le montage d'un accumulateur

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'une 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 9,2 pouces carrés (sq.in.). Déterminer la vitesse du piston (voir figure No 36).

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

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.

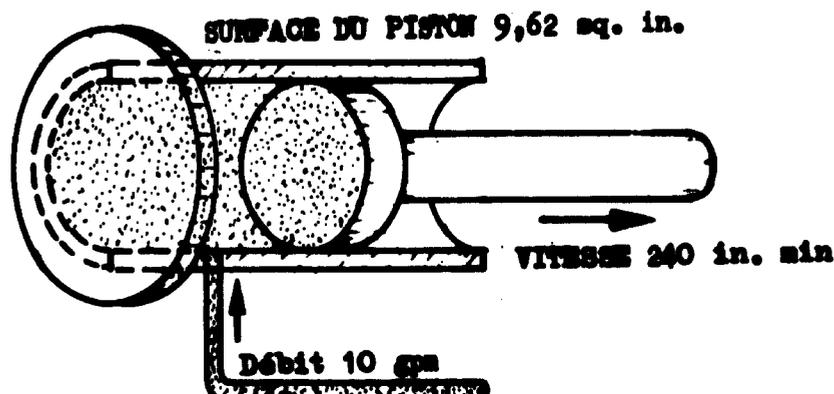


Figure No 36 : Vitesse d'un cylindre hydraulique

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/seconde (2 - 4 ft/sec)
Conduites à pression maximum de 34 atm	3,05 - 4,57 m/seconde (10 - 15 ft/sec)
Conduites à pression de 34 à 204 atm	4,57 - 6,10 m/seconde (15 - 20 ft/sec)
Conduites de pression supérieure à 204 atm	7,62 m/seconde (25 ft/sec)
Conduites d'huile dans les systèmes mixtes air-huile	1,22 m/seconde (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. Eléments 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 contact, 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, 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 accidentiellement. 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 le déformer 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 mé-

canique 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 figure No 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 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, on 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 le circuit accidentiellement. 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 électromagnétiques 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 No 68 (voir chapitre VI) décrit un relais de type classique.

Fonctions

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

Il existe un autre type de relais à mémoire, le relais dit "de blocage" où 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 des relais pouvant supporter en régime continu une force équivalente à 50% au moins de la force de mise en route. Cependant, dans la plupart des projets d'ACM, où les relais servent essentiellement d'interrupteurs, on se contente en général de relais pouvant supporter une force supérieure de 67% au plus à la force en régime 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.

Systeme 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

Systeme 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
Étanchéité

D. Éléments électroniques

Comme beaucoup de fabricants de meubles et de menuiserie trouveront sans doute trop compliqués 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 appliquée 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

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 No 37 représente ces pièces et contient le symbole normalisé d'un cylindre à double effet sans amortisseur.

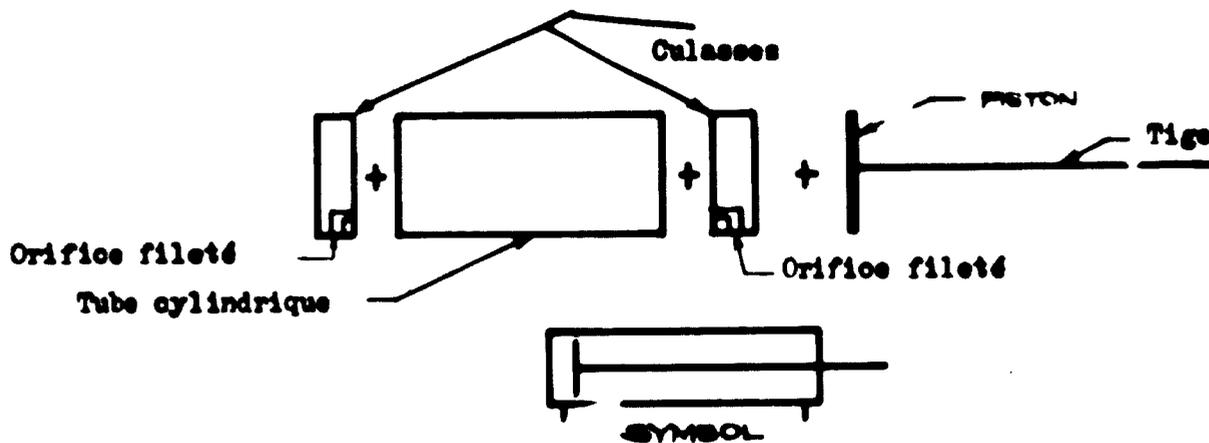


Figure No 37 : Cylindre à double effet:pièces et symbole

Les cylindres à simple effet (figure No 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.

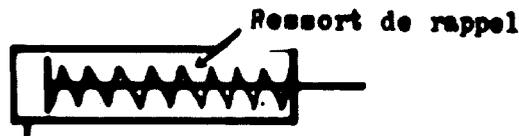


Figure No 38 : Symbole d'un cylindre à simple effet

On peut également munir les cylindres de dispositifs d'amortissement pour éviter les chocs en fin de course (figure No39).

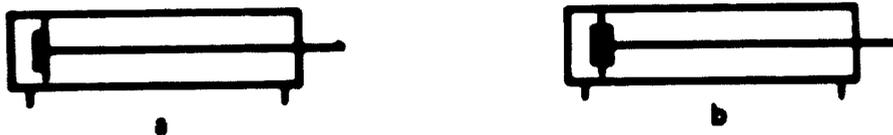


Figure No 39 : Cylindres à double effet avec amortisseur d'un seul côté (a) ou des deux côtés (b)

Quand les dispositifs d'amortissement sont réglables, les symboles sont ceux qu'indique la figure No 40.



Figure No 40 : Cylindres 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 1.

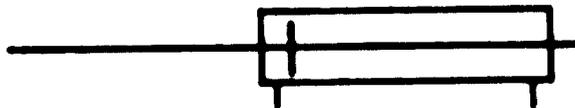


Figure No 41 : Cylindre à tige traversante, sans amortisseur

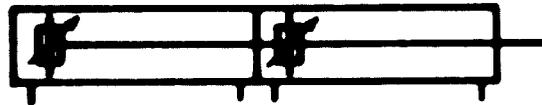


Figure No 42 : Cylindre double avec amortisseur réglable des deux côtés



Figure No 43 : Cylindre à trois positions (courses égales)



Figure No 44 : Cylindre à quatre positions (course inégaux)

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 No 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.

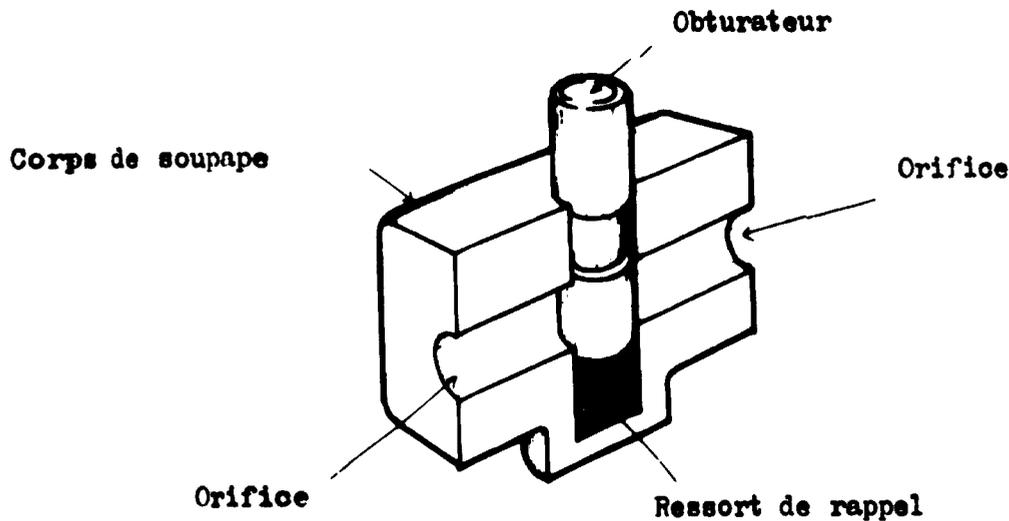


Figure No 45 : Distributeur opéré à la main, à deux positions et deux orifices

Le symbole de base pour le distributeur représenté dans la figure No 45 est indiqué dans la figure No 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.

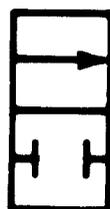


Figure No 46 : Symbole de base pour le distributeur à deux positions et deux orifices représenté dans la figure No 45

On complète ce symbole en y ajoutant des lignes représentant les conduites reliées aux orifices (Figure No 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 No 47(a), l'obturateur est levé, comme dans la figure No 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 No 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.

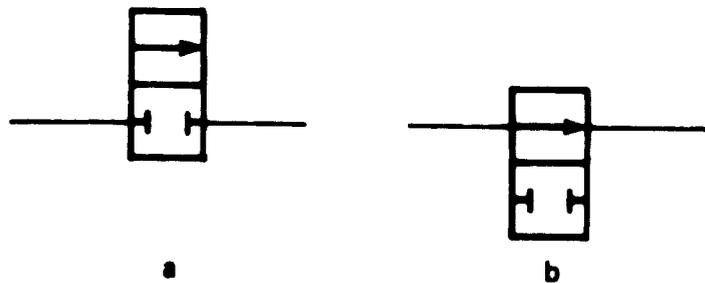


Figure No 47 : Symboles d'un distributeur à deux positions et deux orifices, fermé(a) et ouvert(b)

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 trouvera d'autres dans l'annexe 1.

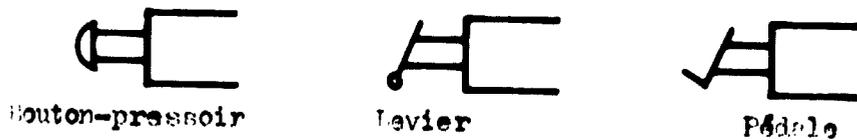


Figure No 48 : Activateurs directs

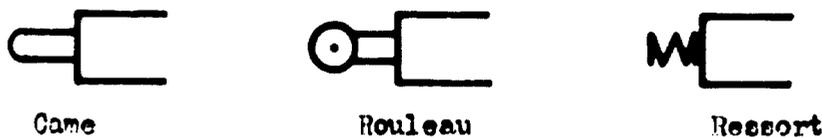


Figure No 49 : Activateurs mécaniques

Le distributeur décrit ici comporte un activateur interne à ressort (figure No 49), mais on peut y ajouter un bouton-poussoir (figure No 48) à l'autre extrémité de l'obturateur. Les symboles correspondants sont indiqués dans la figure No 50.

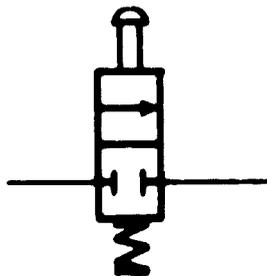


Figure No 50 : Symbole complet d'un distributeur à deux positions et deux orifices, avec activateurs

La figure No 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 No 52 représente le symbole d'un activateur mixte pneumatique électrique.

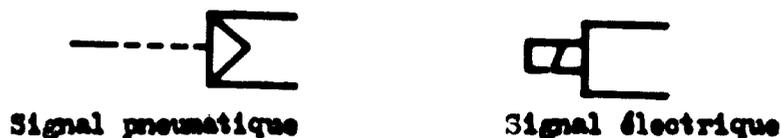


Figure No 51 : Activateurs commandés à distance



Figure No 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 No 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 No 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 No 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.

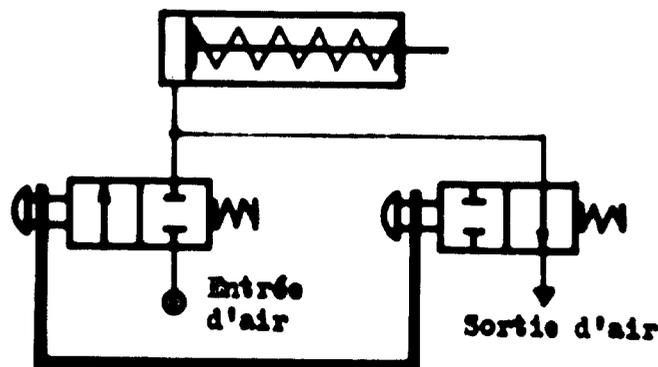


Figure No 54 : Deux distributeurs à deux orifices et à connexion mécanique, l'un à position normale de travail, et l'autre à position normale de repos.

La figure No 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 No 54: c'est celle de la figure No 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. Quand 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.

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 No 56), soit par un seul distributeur à cinq orifices (figure No 57).

Entrée d'air
Sortie d'air

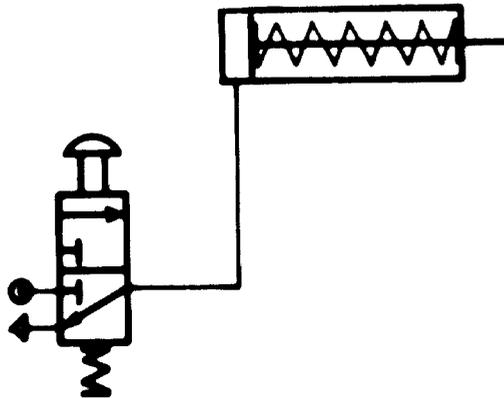


Figure No 55 : Distributeur à deux positions et trois orifices, remplaçant les deux distributeurs représentés dans la figure No 54

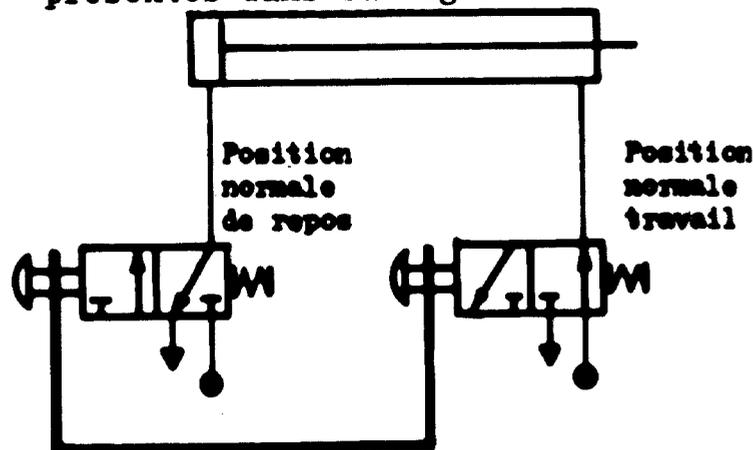


Figure No 56 : Cylindre à double effet, actionné par deux distributeurs à trois orifices couplés

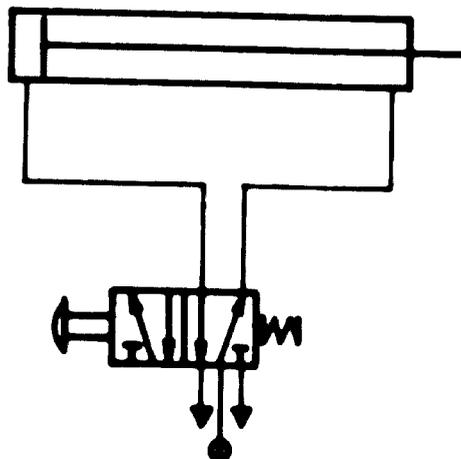


Figure No 57 : Cylindre à double effet, actionné par un distributeur à cinq orifices

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 No 58.

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 No 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 No 60. Le premier chiffre indique le nombre d'orifices, et le second le nombre de positions distinctes.

Il existe deux types particuliers de distributeurs de commande: le clapet de non-retour, et le sélecteur de circuit. Le premier (figure No 61) permet le passage du fluide dans une direction, mais l'interdit dans l'autre. Le deuxième (figure No 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 No 58 : Symboles utilisables pour le distributeur à deux positions et à trois orifices



Figure No 59 : Symboles de base pour les distributeurs à 2, 3 et 4 positions



(a) 2/2



(b) 3/2



(c) 5/2



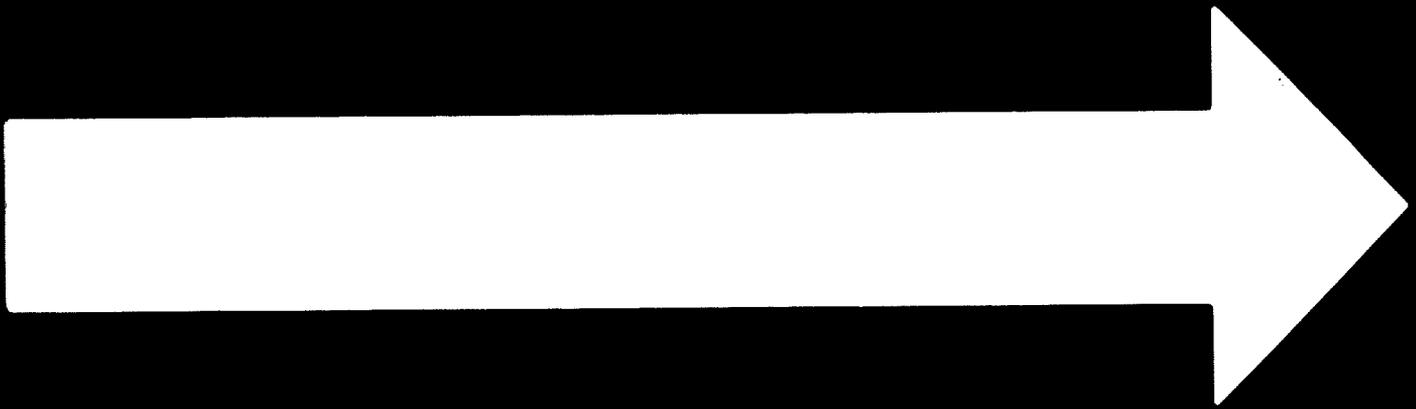
(d) 5/3

Figure No 60 : Symboles et dénominations de divers distributeurs de commande

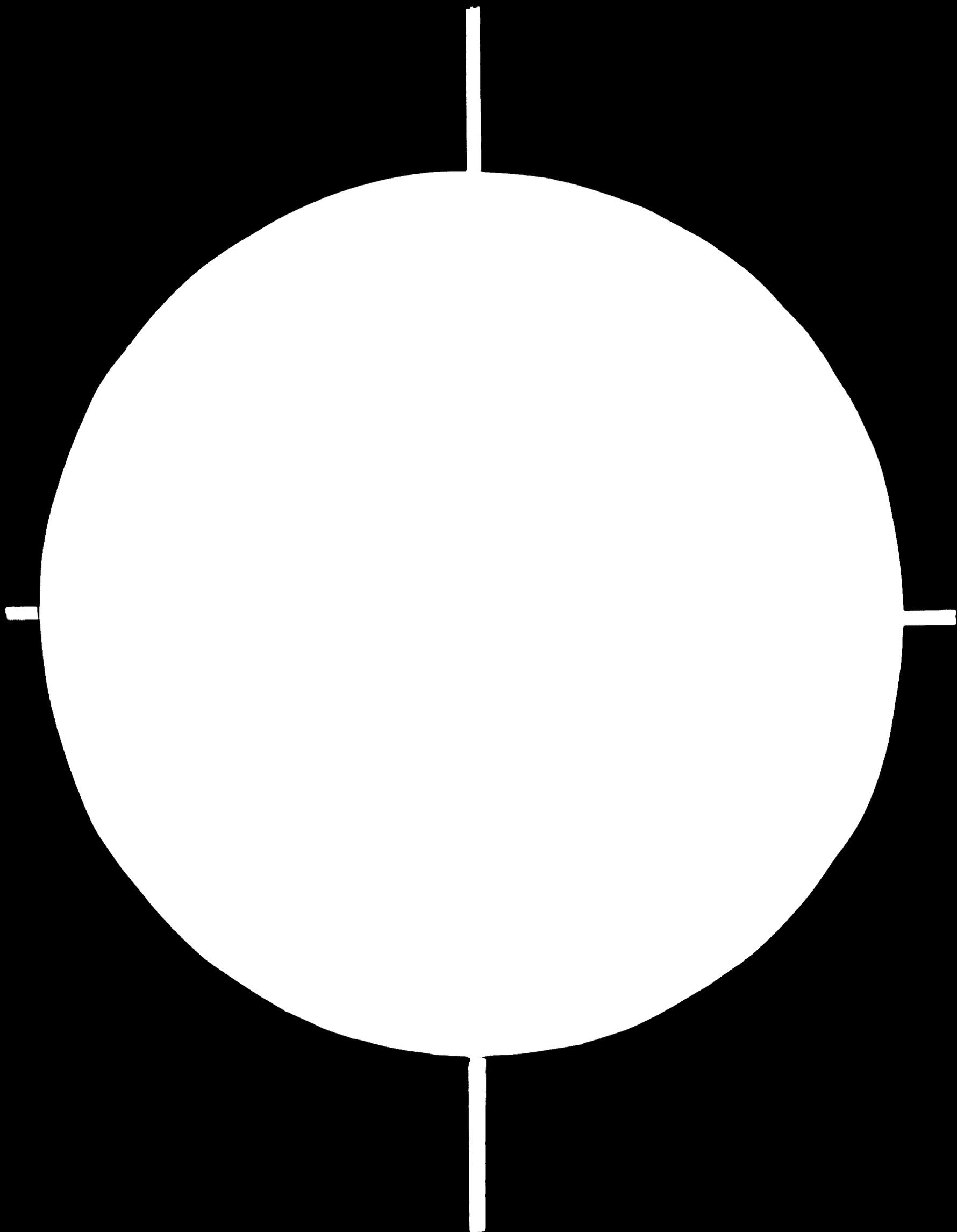


Figure No 61 : Symbole simplifié du clapet de non-retour. Le passage du fluide n'est possible que dans la direction indiquée par la flèche.

A - 344



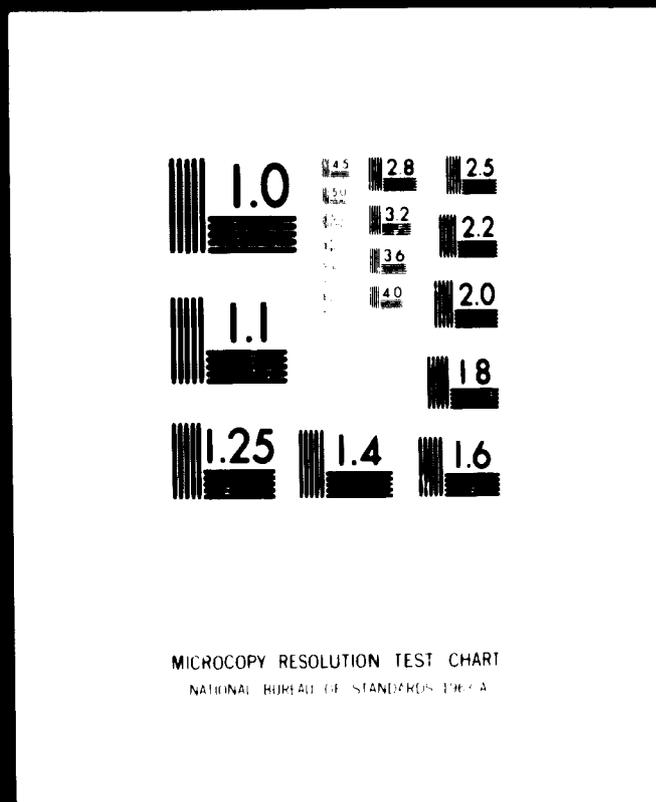
77 . 10 . 06



2 0 F 2

0 6 9 4 8

F



24 x

A

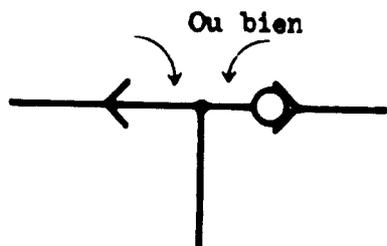


Figure No 62 : Symbole simplifié du sélecteur de circuit. Les flèches indiquent les deux trajets possibles du fluide.

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 No 63, celui de l'appareil ajustable dans la figure No 64.



Figure No 63 : Appareil fixe de réglage du débit



Figure No 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 No 65).

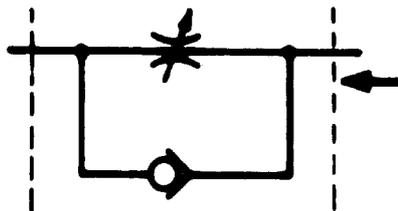


Figure No 65 : Appareil ajustable de réglage du débit, avec passage libre du fluide dans la direction indiquée par la flèche; le passage du fluide dans la direction opposée est bloqué

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 No 66.

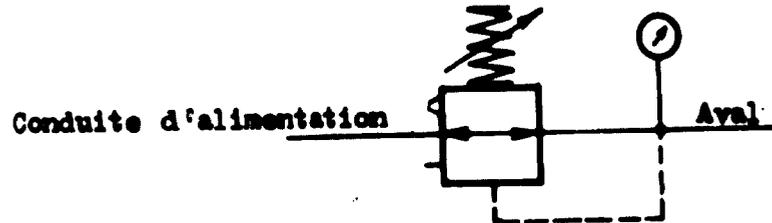


Figure No 66 : Symbole simplifié du régulateur de pression. Quand la pression en aval dépasse la pression exercée par l'activateur ajustable à ressort, la soupape est activée et supprime l'excès de pression dans la conduite d'alimentation. Quand la pression en aval est trop basse, le ressort active la 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 oléohydrauliques et pneumatiques, l'Organisation internationale de normalisation et le United States Air Standard Institute (USASI). On trouvera en annexe 1 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.

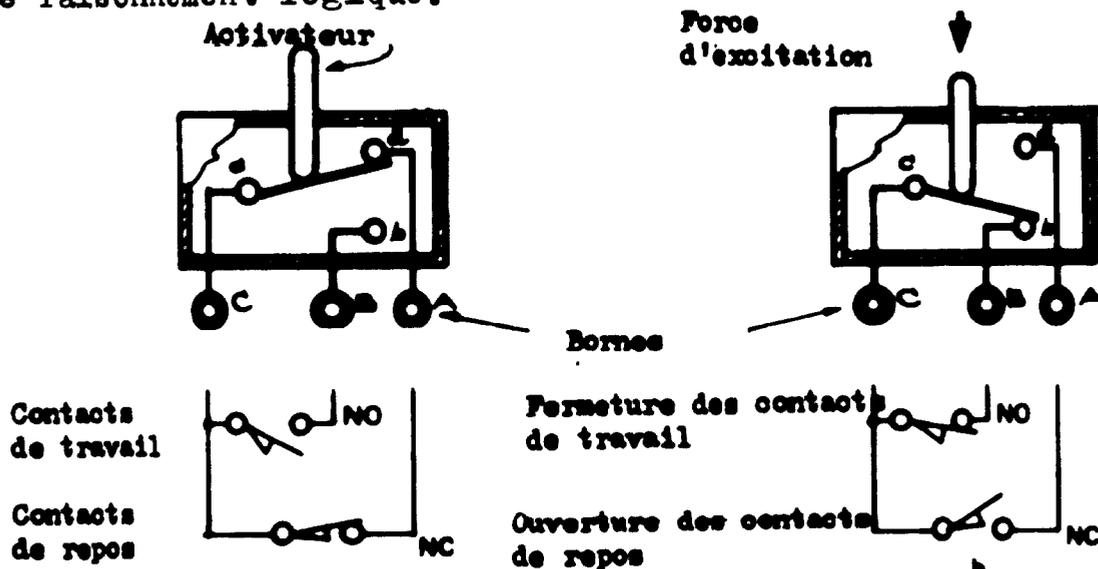


Figure No 67 : Schémas et symboles d'un interrupteur de fin de course (contacteur) de type classique dans a) : la position "arrêt" (normale) et b) : la position "marche"

Eléments 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 No 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 No 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.

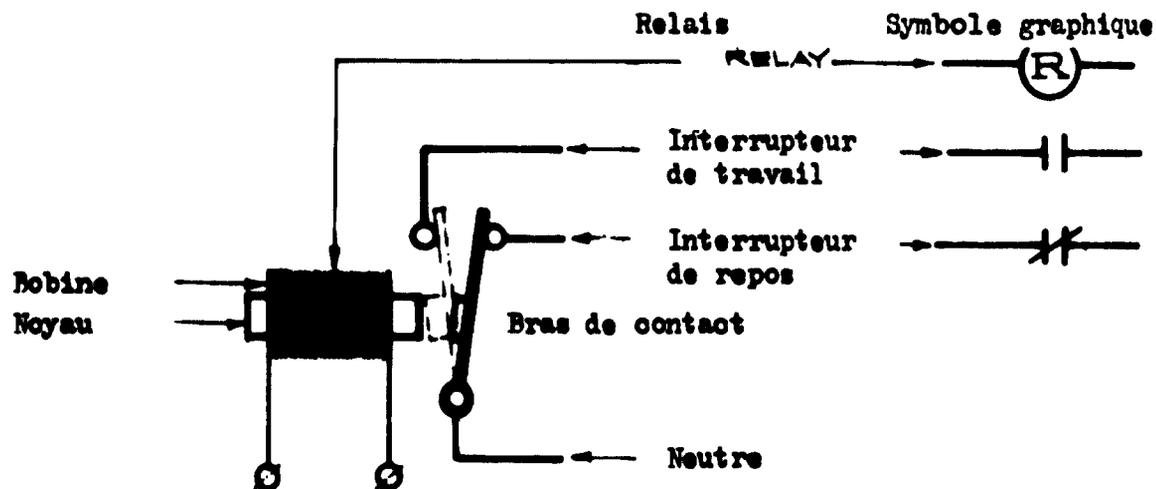


Figure No 68: Schéma et symboles d'un relais classique du type unipolaire à deux directions. Le déplacement du bras dans la position "marche" est indiqué en pointillé

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 No 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 photoélectriques, 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 No 69. Le système de commande simplifié de la figure No 70 n'est qu'un cas particulier de la figure No 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 hydrauliques

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 No 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.

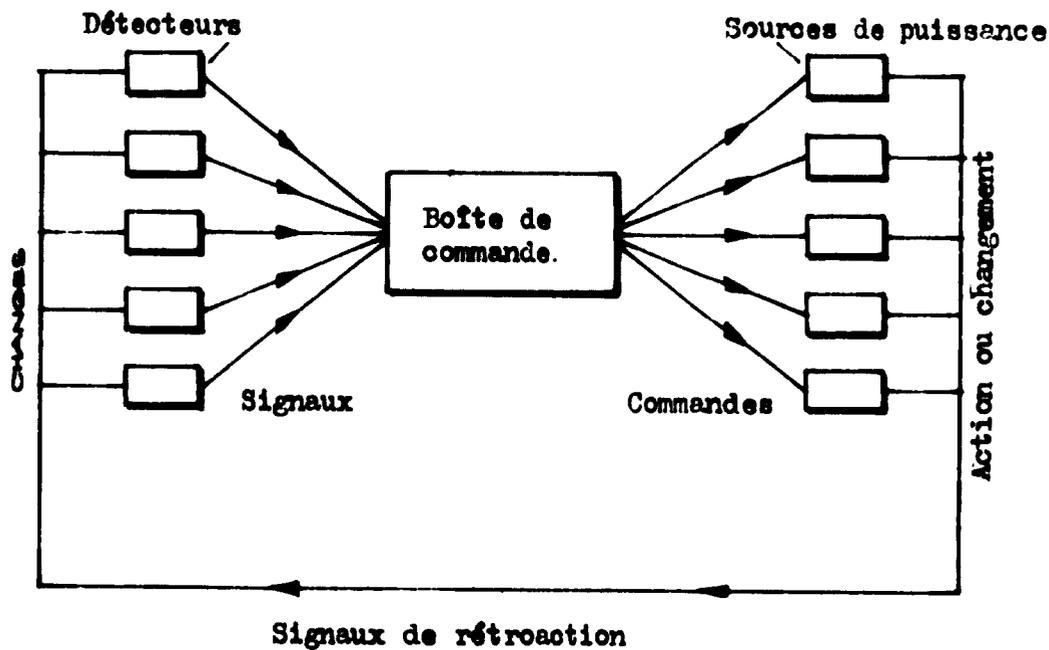


Figure No 69 : Schéma d'un système de commande généralisé

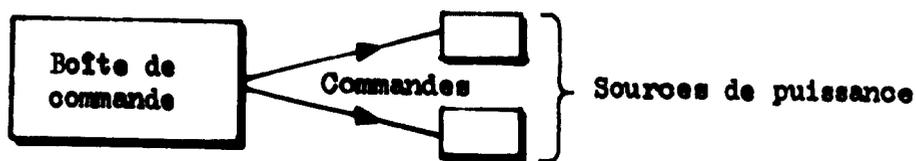


Figure No 70 : Schéma d'un système de commande simplifié, sans signaux de rétroaction apparents

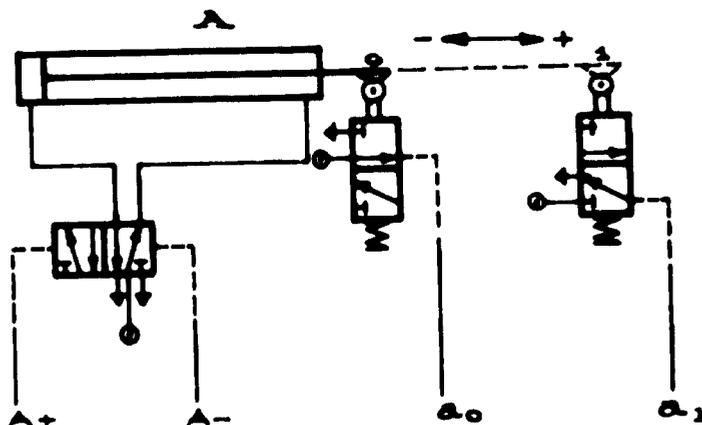


Figure No 71 : Schéma de circuit pneumatique ou hydraulique incomplet. Voir le texte pour plus de détails.

Si l'on complète le système de rétroaction représenté dans la figure No 71 en reliant la conduite allant de a_0 à $A+$ et la conduite allant de a_1 à $A-$ (figure No 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.

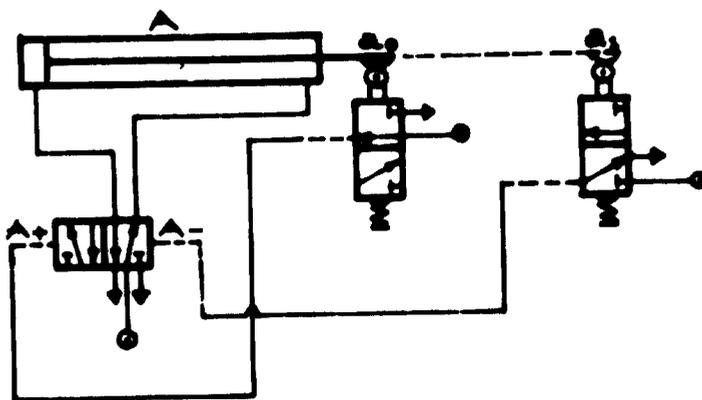


Figure No 72 : Cylindre à oscillation continue (achèvement du circuit représenté dans la figure No 71). Voir le texte pour plus de détails.

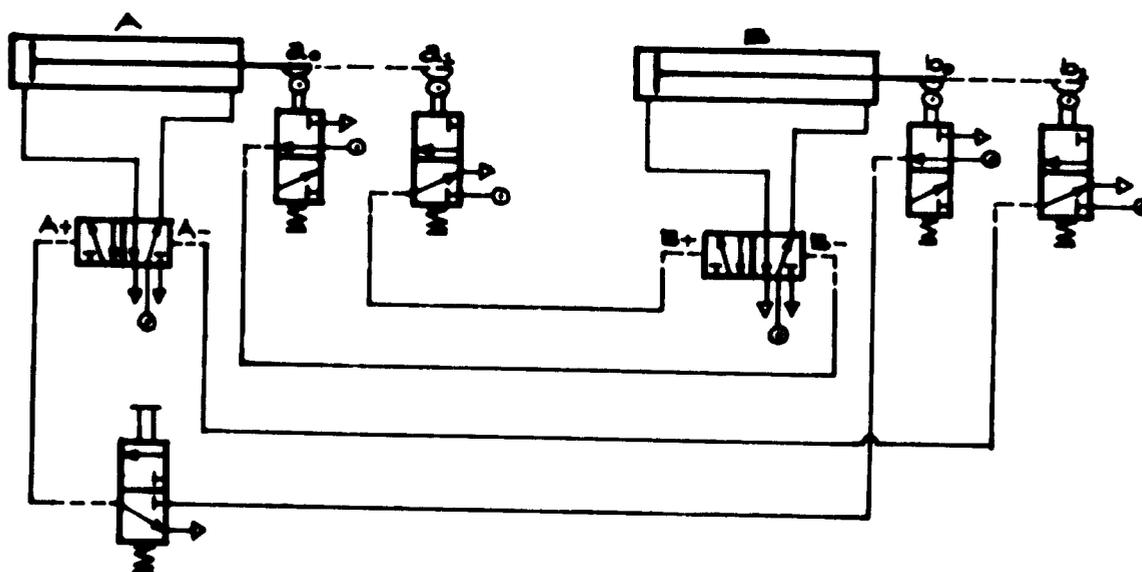


Figure No 73 : Circuit à deux cylindres. Quand le distributeur représenté en bas à gauche est activé, la séquence des signaux est $b_0, A+, a_1, B+, b_1, A-, a_0, B-$

La figure No 74 contient le diagramme temps-mouvement pour les cylindres du circuit représenté dans la figure No 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).

Intervalles chronométriques

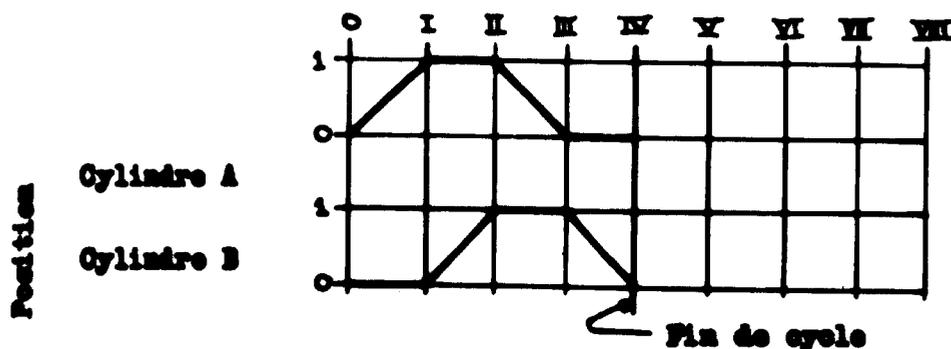


Figure No 74 : Diagramme temps-mouvement du circuit représenté dans la figure No 73

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 No 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 No 76 contient le schéma du circuit électrique correspondant. Quand on appuie sur l'interrupteur à bouton presseur No 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.

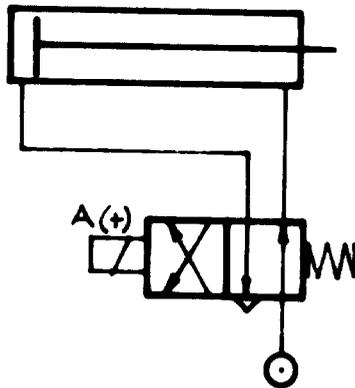


Figure No 75 : Cylindre pneumatique avec distributeur commandé par électro-aimant

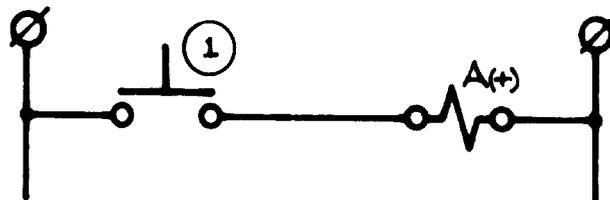


Figure No 76 : Circuit électrique de commande du cylindre pneumatique représenté dans la figure No 75

Une autre possibilité est représentée par le circuit décrit dans la figure No 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-poussoir a été libéré, on peut se servir du circuit représenté dans la figure No 78. Le relais S a deux groupes de contact, S_A et S_M . Quand on appuie sur le bouton-poussoir 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-poussoir 1 a été libéré. Pour ramener le cylindre à sa position première, on appuie sur l'interrupteur à bouton-poussoir No 2, qui est un interrupteur de repos.

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-poussoir No 2 par un contacteur (de repos) installé au même point (figure No 79).

Le circuit représenté dans la figure No 80 communique au cylindre un mouvement d'oscillation. On obtient ce mouvement en appuyant sur le bouton-poussoir No 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 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 No 2, qui efface la mémoire de W.

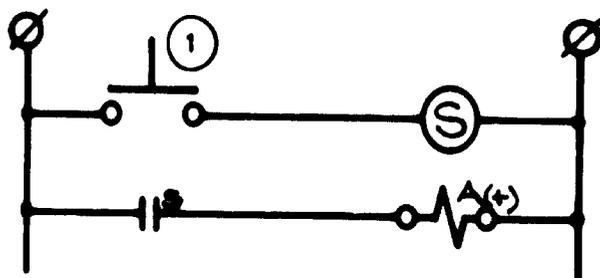


Figure No 77 : Incorporation d'un relais pour commander le courant de la bobine de l'électro-aimant

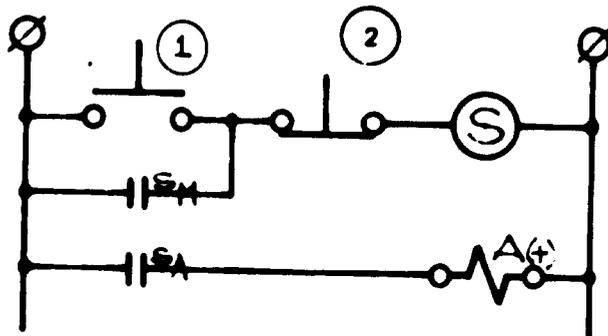


Figure No 78 : Utilisation d'un électro-aimant "mémoire" pour fonctionnement continu du cylindre après libération du bouton-poussoir

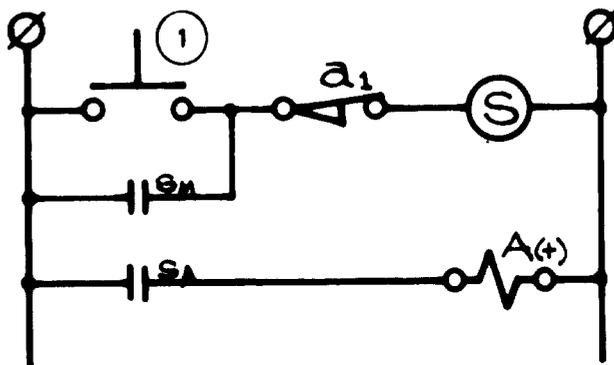


Figure No 79 : Utilisation d'un contacteur pour effacer la mémoire du relais à un moment prédéterminé

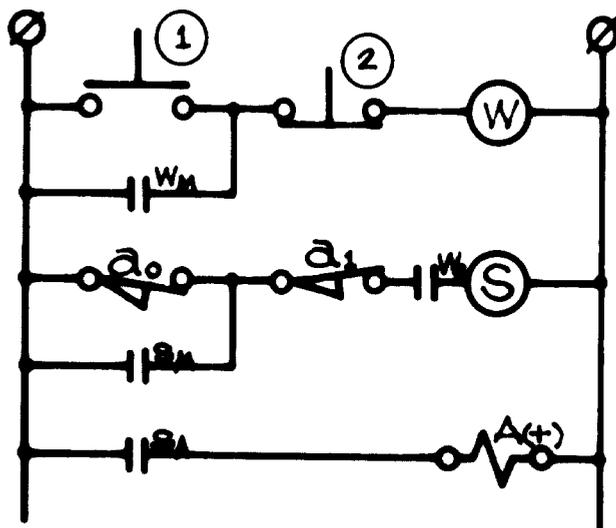


Figure No 80 : Circuit de commande d'un cylindre oscillant

Supposons que le cylindre de la figure No 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 No 81) qui n'actionne la presse que si l'opérateur appuie en même temps et des deux mains sur deux boutons-presseurs 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.

La figure No 82 représente une presse commandée par un double distributeur à électro-aimant. Pour actionner le cylindre, il faut là encore appuyer sur deux boutons-presseurs (1 et 2) en même temps; mais on remarquera que, lorsque ces boutons-presseurs 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-presseurs (3 et 4) simultanément. La sécurité de l'ouvrier est donc garantie aussi bien pendant la cours-retour que pendant la course-aller.

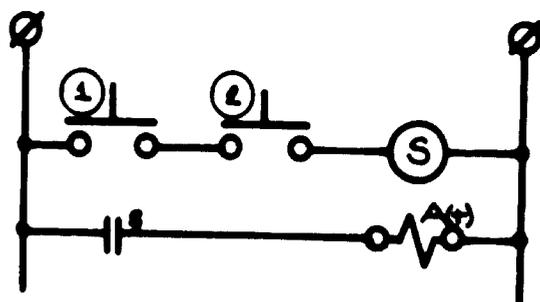


Figure No 81 : Circuit de sécurité. Le cylindre ne fonctionne que si l'opérateur appuie sur l'interrupteur No 1 d'une main, et sur l'interrupteur No 2 de l'autre.

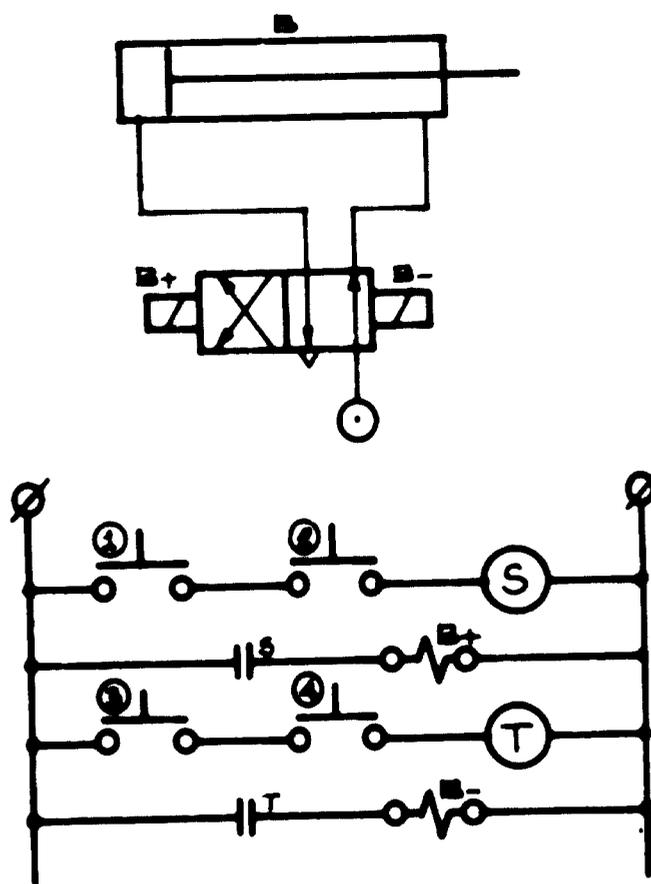


Figure No 82 : Presse à cylindre commandée par un double distributeur à électro-aimant et munie d'interrupteurs de sécurité dans les deux sens de la course

La figure No 83 représente un cylindre à deux courses par cycle d'opération:une course courte,et une course longue.

Quand on appuie sur le bouton-poussoir "marche", le relais R_1 et l'électro-aimant B_1 sont alimentés simultanément. Le piston avance donc jusqu'à mi-course, c'est-à-dire jusqu'à la position 2, où l'interrupteur a_2 est activé, alimentant R_2 et coupant le courant du distributeur à électro-aimant. Le piston retourne alors à sa position première et, aussitôt que a_1 est activé, repart vers l'avant, mais cette fois pour une course complète, jusqu'à a_1 . Le relais R_1 , à position normale fermée, est alors ouvert, et le piston revient à sa position de repos. Fin de cycle (l'activateur de l'interrupteur a_2 n'est pas actionné pendant la course retour du piston).

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

On trouvera dans ce chapitre quelques 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 des menuiseries. Comme les lances à incendie sont prévues pour résister normalement à une pression interne de 20 atmosphères on peut aisément en utiliser une section comme conduite d'air comprimé (le plus souvent à 10 atm) 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 80 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.

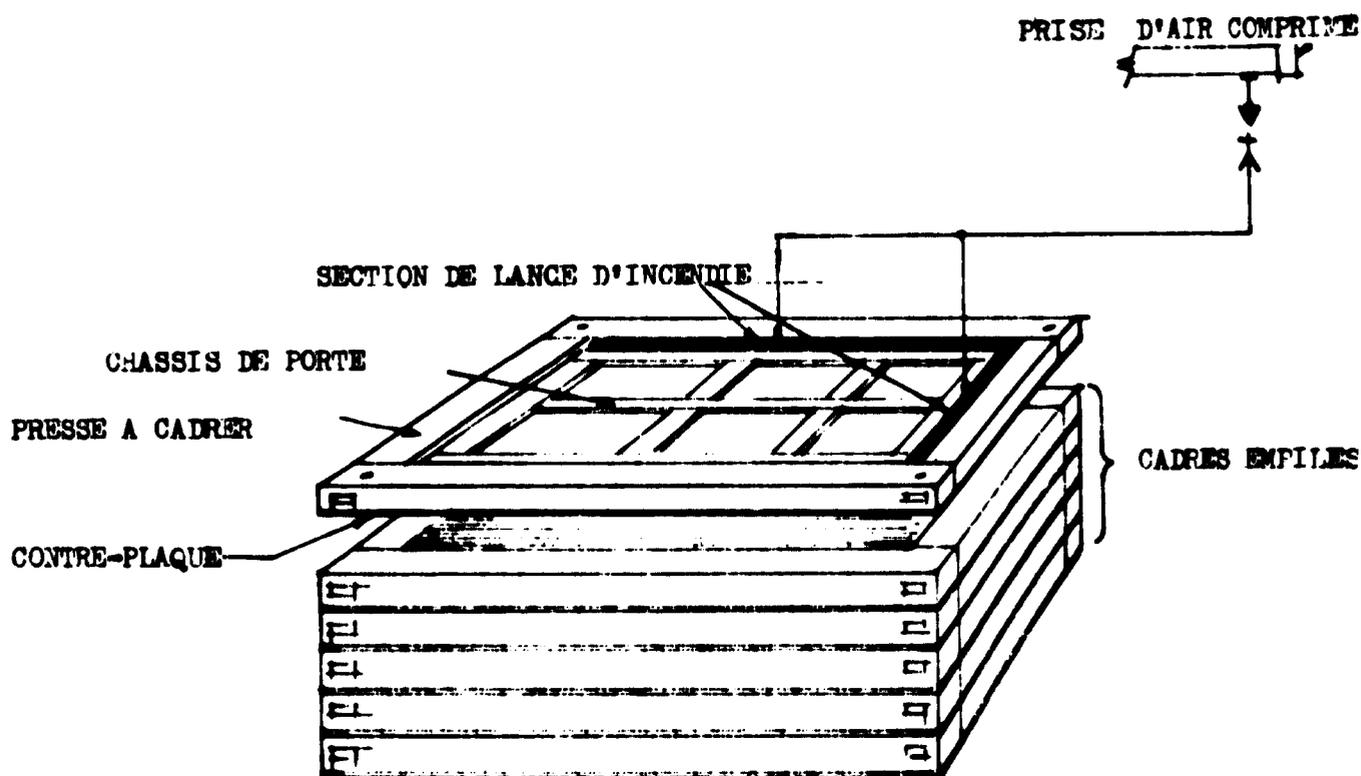


Figure No 84 : Presse à cadrer

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	56 dollars
Lance à incendie (déchet)	-
Accessoires	<u>30 dollars</u>
Total	86 dollars

Situation avant l'ACM

Coût de la main -d'oeuvre	0,04 dollar par cadre
Capacité de production	21 cadres par jour

Situation après l'ACM

Coût de la main d'oeuvre	0,04 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 4 300 cadres (huit 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 85. 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_2 . 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: 40 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 86). 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 personnel. On trouvera ci-après des données relatives à une usine produisant des châssis de fenêtres.

Dépenses d'investissement

Eléments d'ACM	130 dollars
Gabarits	150 dollars
Lance à incendie (déchet)	-
Total	<u>280 dollars</u>

Situation avant l'ACM

Coût de la main-d'oeuvre	0,04 dollar par châssis
Capacité de production	21 châssis par jour

Situation après l'ACM

Coût de la main d'oeuvre	0,008 dollar par châssis
Capacité de production	104 châssis par jour

Avantages

Economie de main-d'oeuvre: 0,032 dollar par châssis
Investissement amorti en trois mois
Amélioration de la qualité

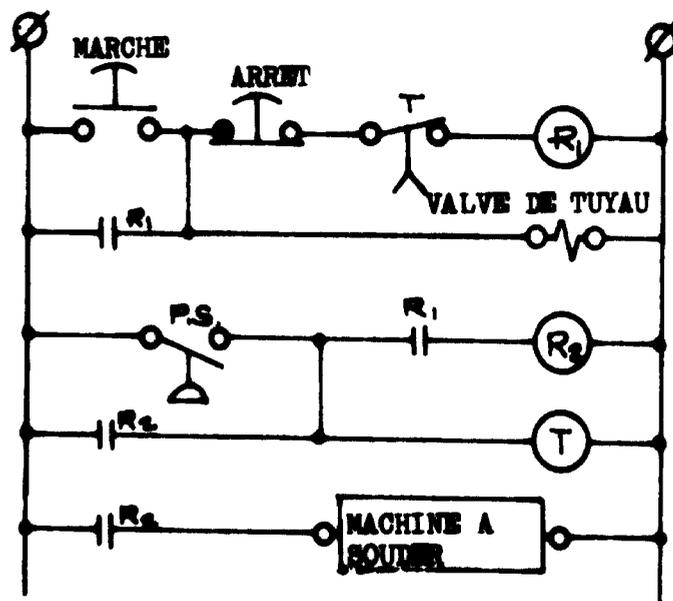
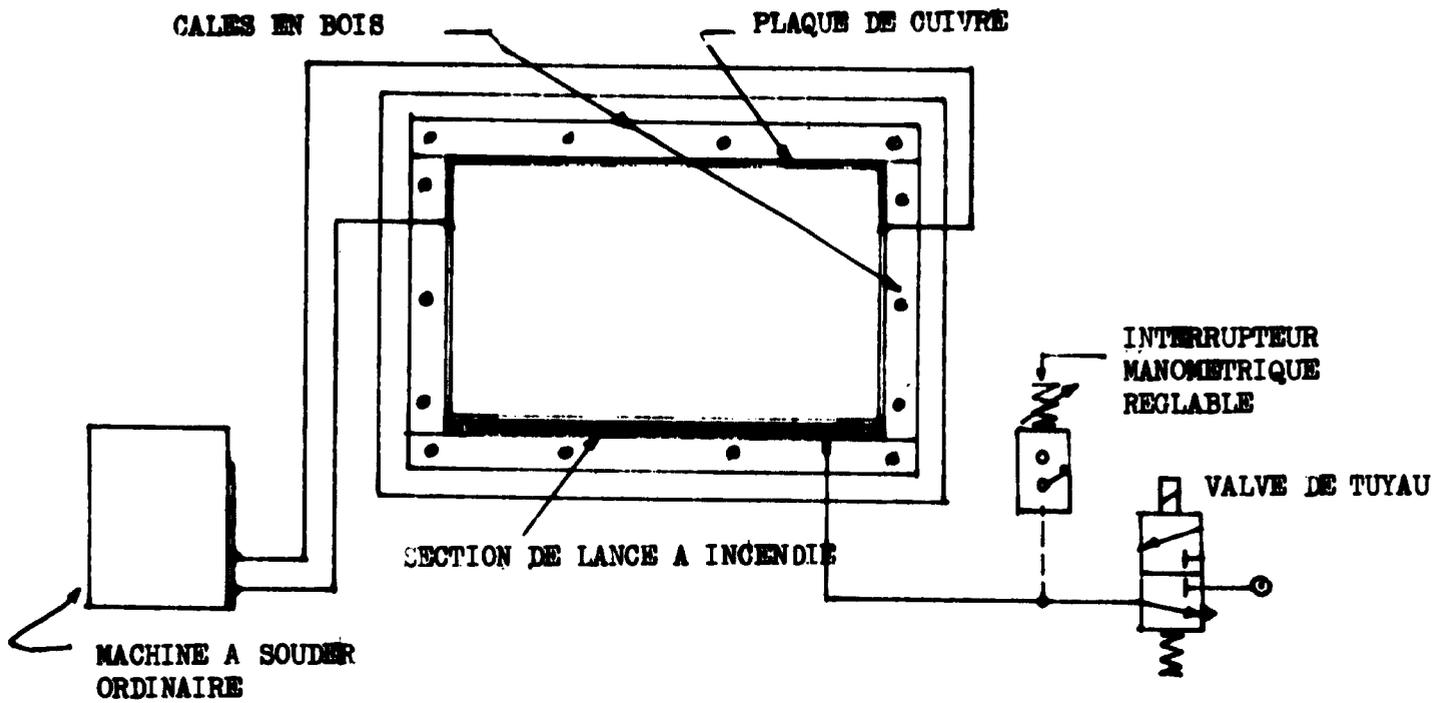


Figure No 85 : Machine à coller sur chants

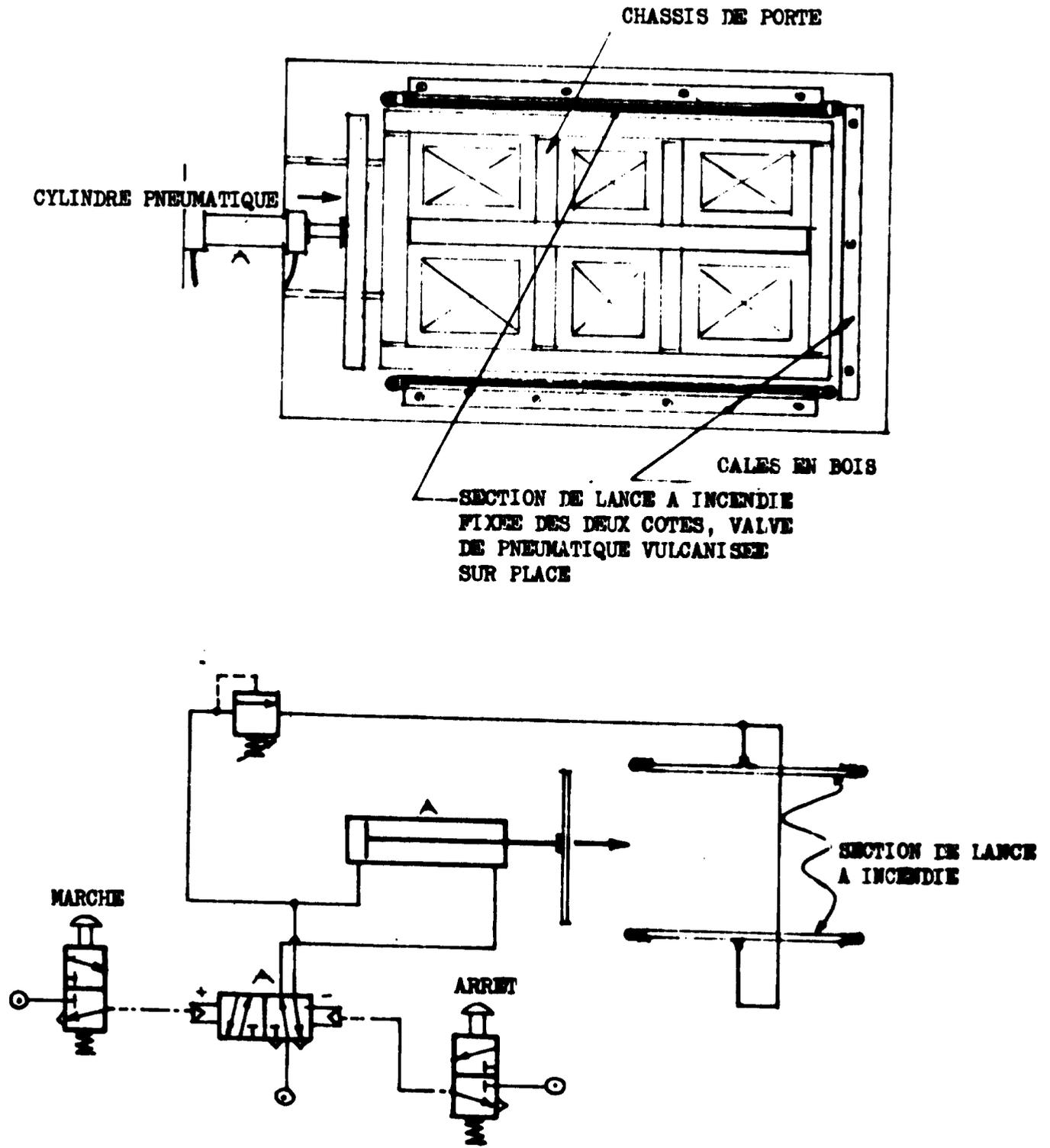


Figure No 86 : Dispositif de montage de cadres de porte

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 87 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 450 dollars, dont 250 pour les éléments d'ACM et 200 pour les gabarits, montages, etc.

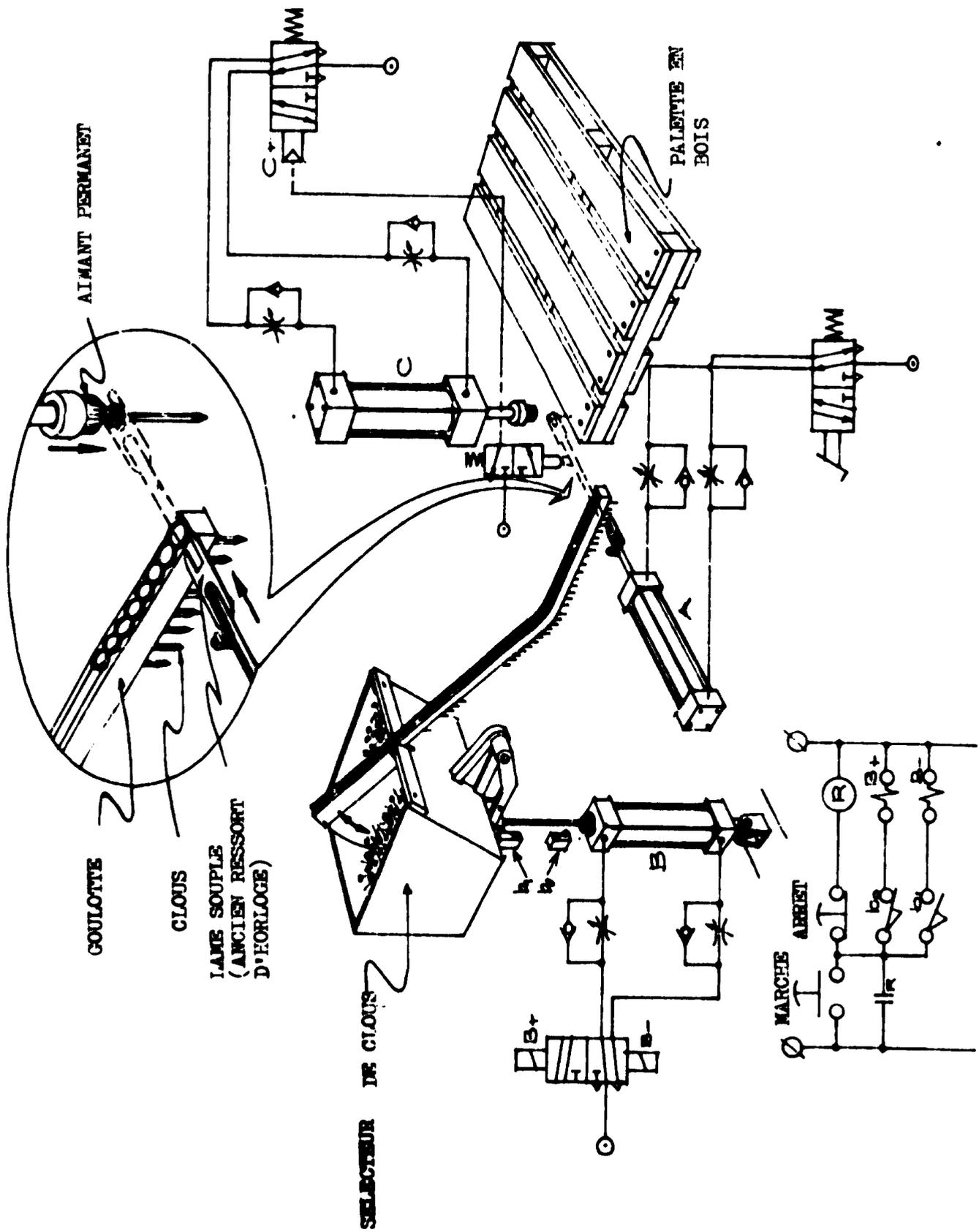


Figure No 87 : Machine pneumatique à clouer

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 atm 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 88 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.

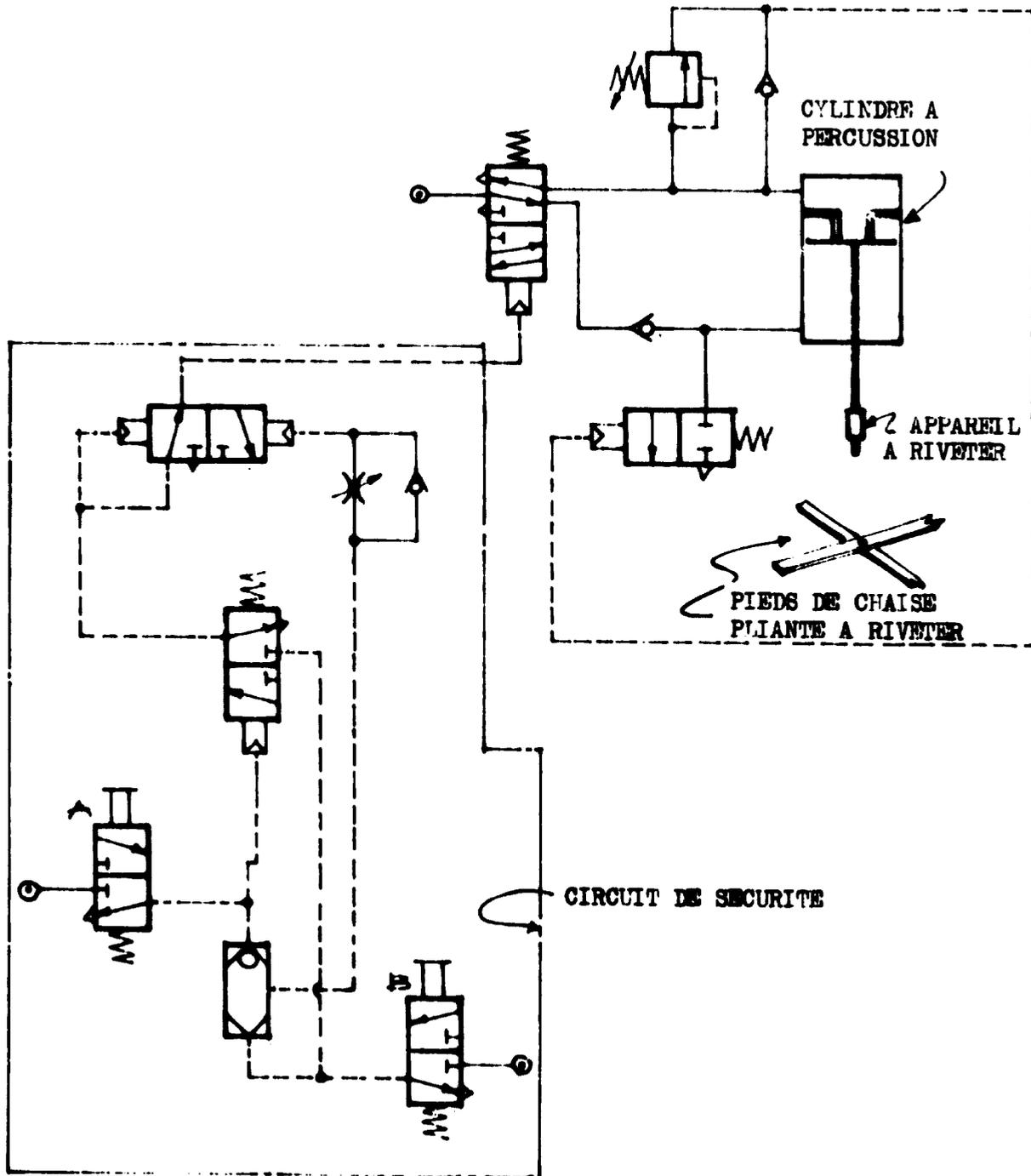


Figure No 88 : Riveteuse pneumatique à percussion

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

Dépenses d'investissement

Le dispositif coûte environ 250 dollars.

Situation avant l'ACM

Capacité de production	120 chaises par jour
Coût de la main-d'oeuvre (2 ouvriers, l'un pour poser le rivet en place et l'autre pour le refouler)	0,01 dollar par chaise

Situation après l'ACM

Capacité de production	600 chaises par jour
Coût de main d'oeuvres (2 ouvriers, comme auparavant)	0,05 dollar par chaise
Coût de l'énergie électrique	0,002 dollar par "-"

Avantages

Economies : 0,038 dollar par chaise
Investissements amortis en deux 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 89, c'est en réalité l'huile 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 dessus 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 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	150 dollars
Eléments et accessoires fabriqués sur place	<u>100 dollars</u>
Total	250 dollars

Situation avant l'ACM

Nombre d'ouvriers	2 (1'un pour alimenter la machine, l'autre pour empiler le bois usiné)
Salaire total	4,20 dollars par jour
Coût fixe de la machine	83 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	2,10 dollars par jour
Economies dues à une meilleure utilisation du matériel	33,20 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.

La figure 90 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 microinterrupteur détermine la profondeur du trou à percer.

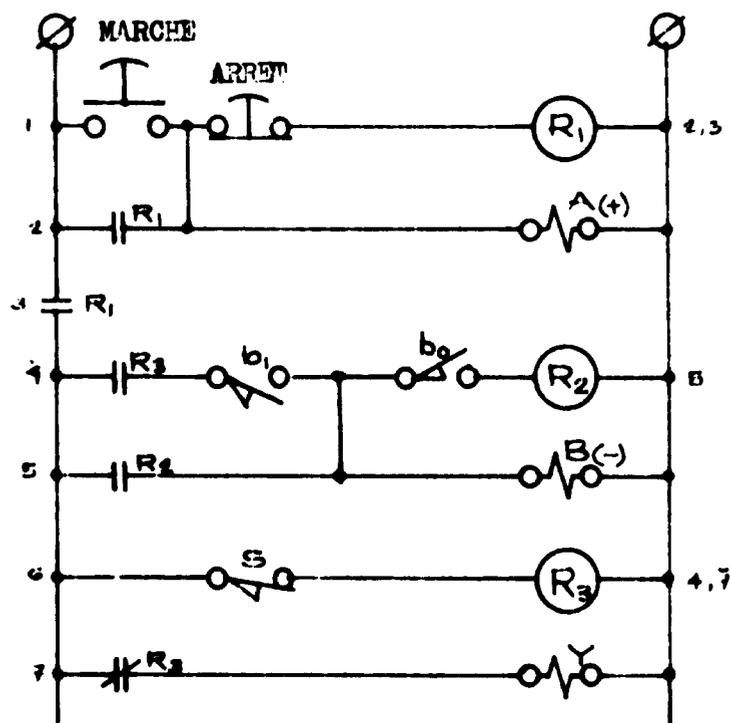
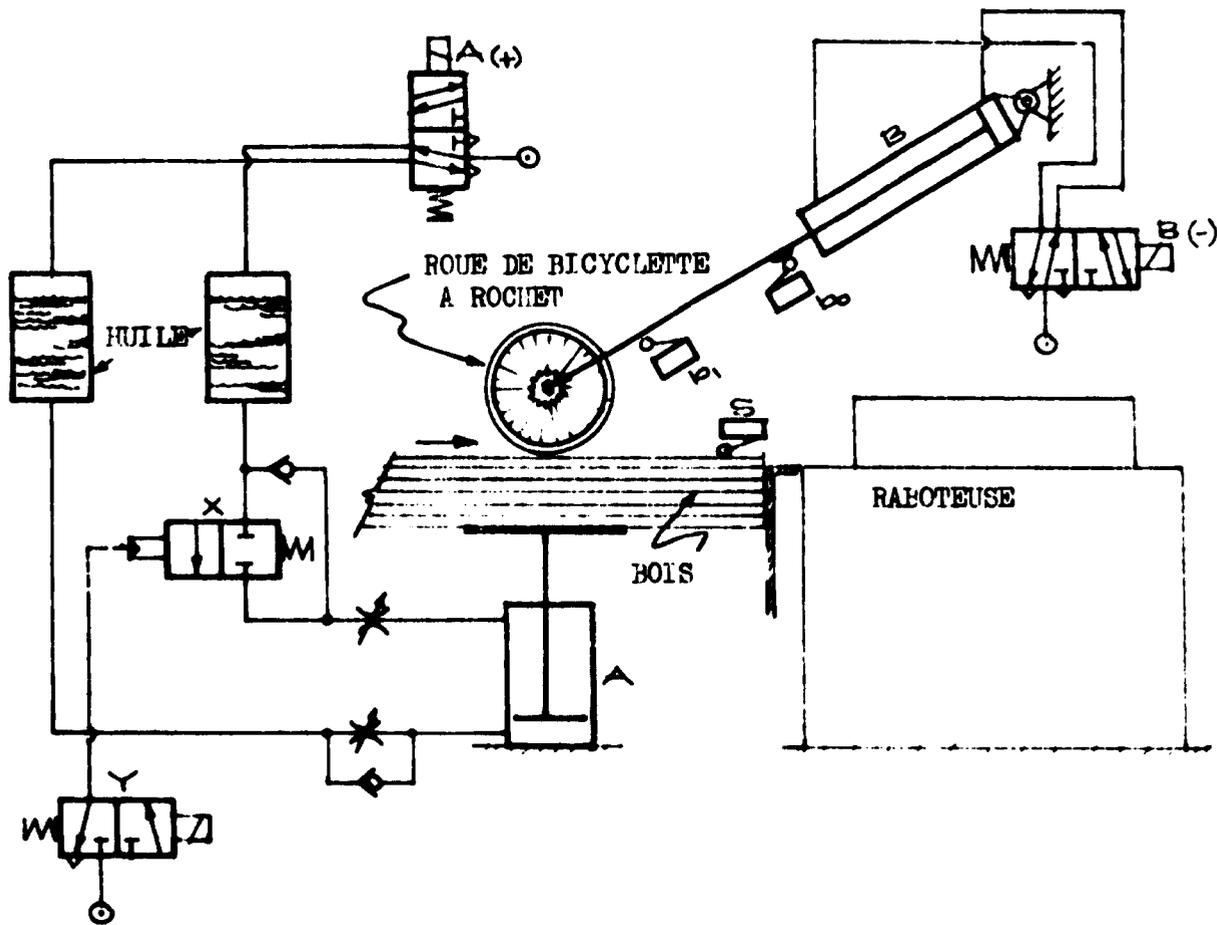


Figure No 89 : Mécanisme d'alimentation pour raboteuse

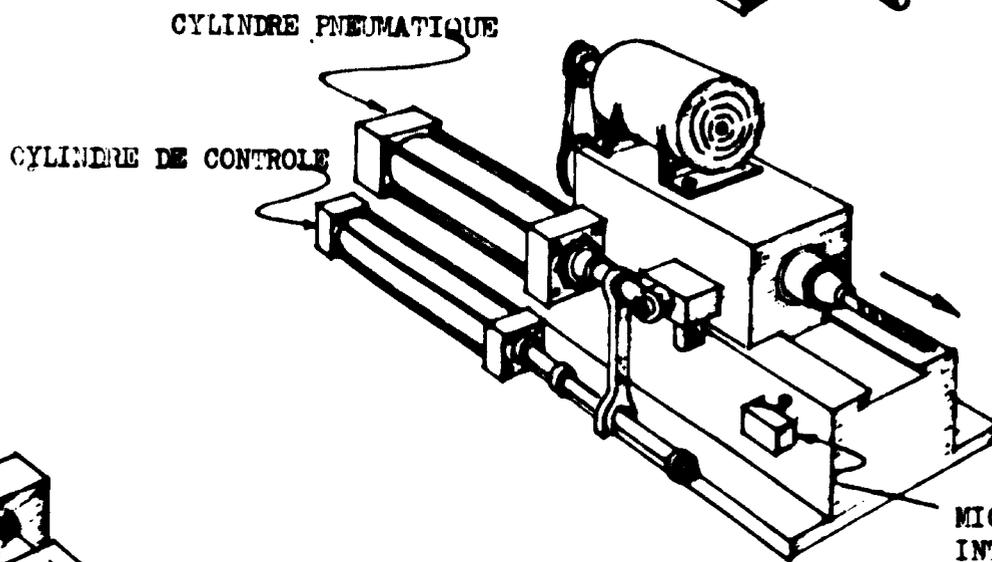
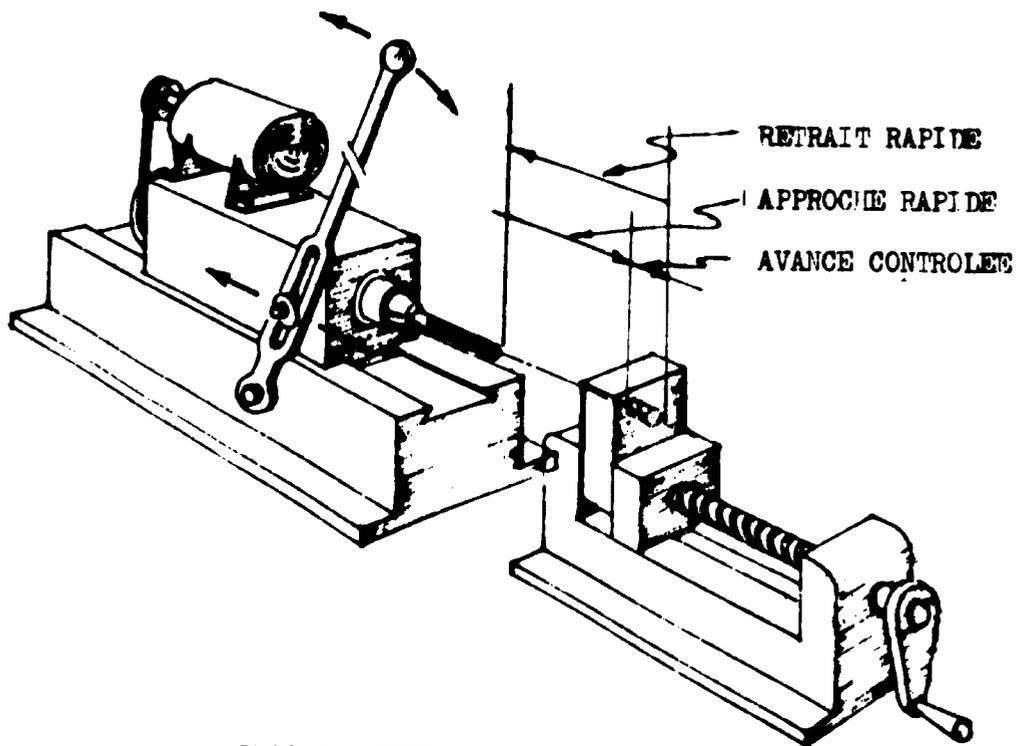


Figure No 90a): Dispositif de perçage automatique: Comparaison avec le dispositif initial

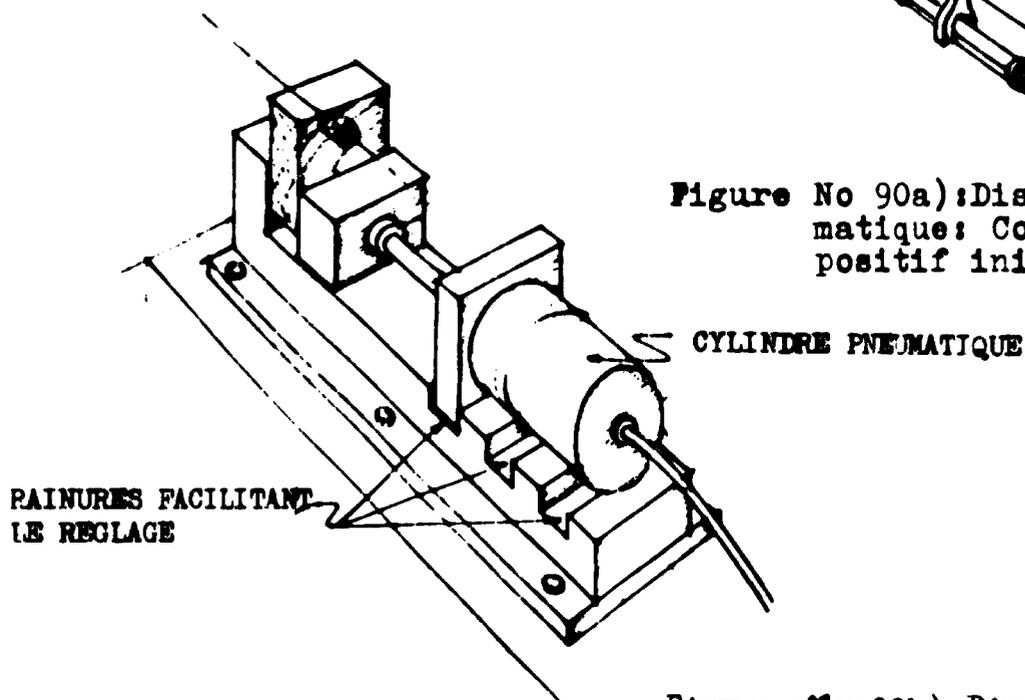


Figure No 90b): Dispositif de perçage automatique: Serrage pneumatique

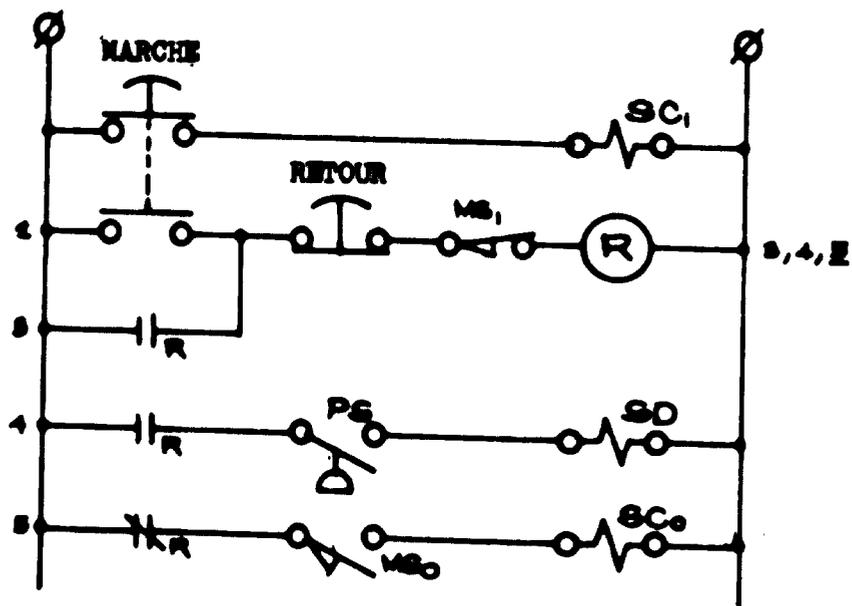
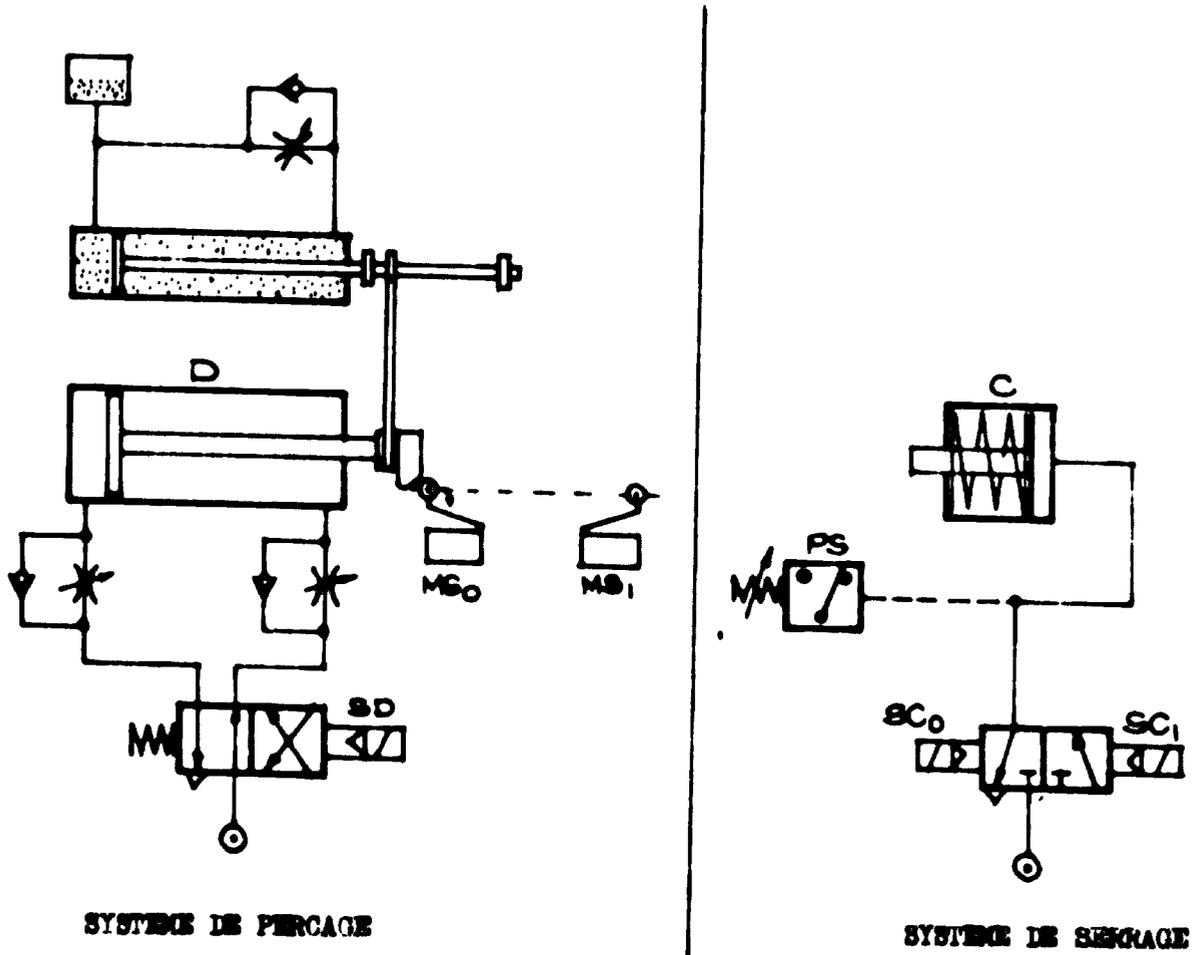


Figure No 90c): Dispositif de perçage automatique: Schémas de circuits pneumatiques et électriques

La figure 90b) 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 90c), 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 MS₁ provoque le retrait de la mèche, après quoi le contacteur MS₀ rouvre le dispositif de serrage.

Dépenses d'investissement

Le coût approximatif des accessoires est de 160 dollars.

Avantages

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

H. Perceuse à colonne automatisée

La figure 91a) 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 91b), 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 100 dollars.

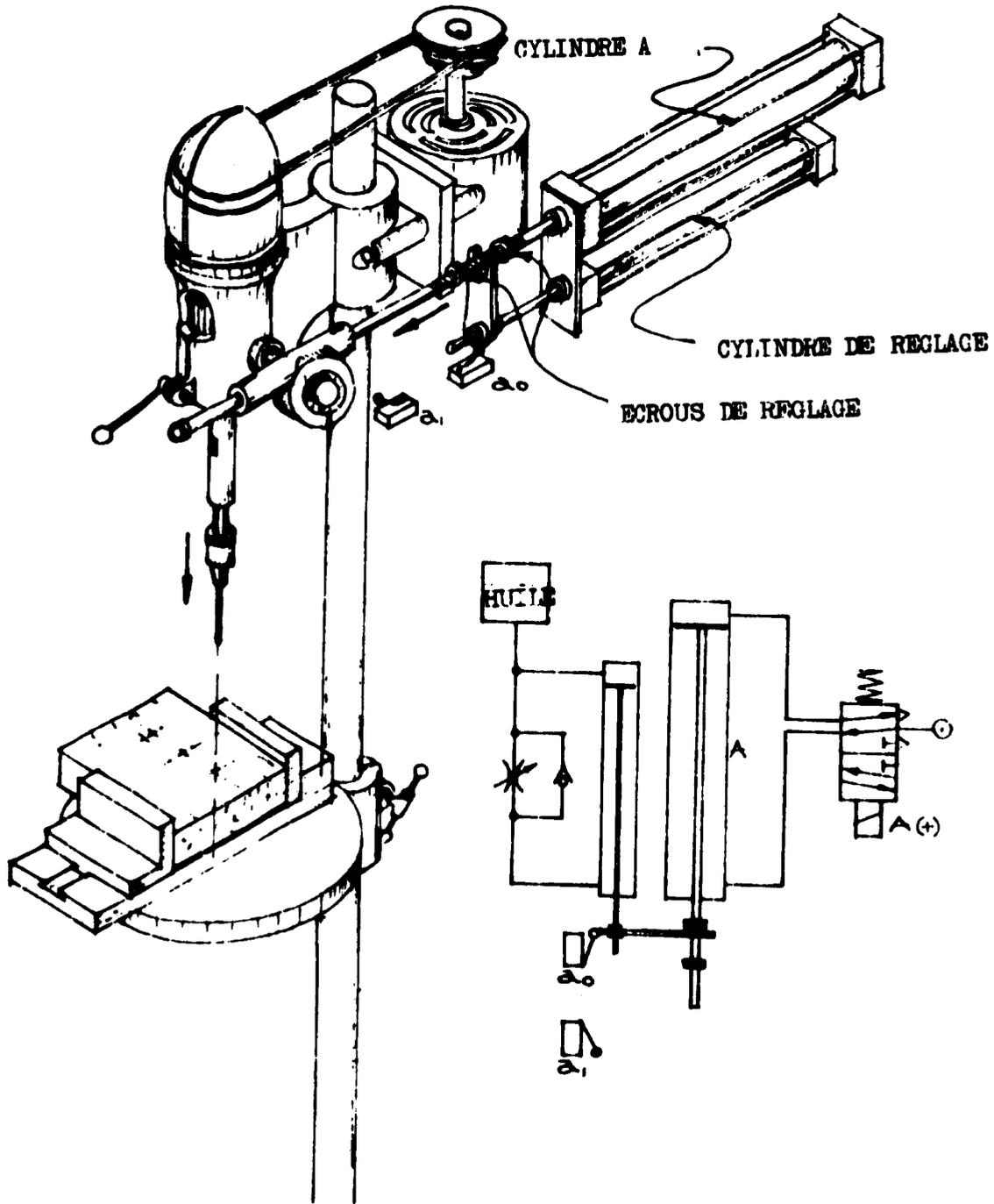


Figure No 91a) : Perceuse à colonne automatisée: schéma et circuit pneumatique

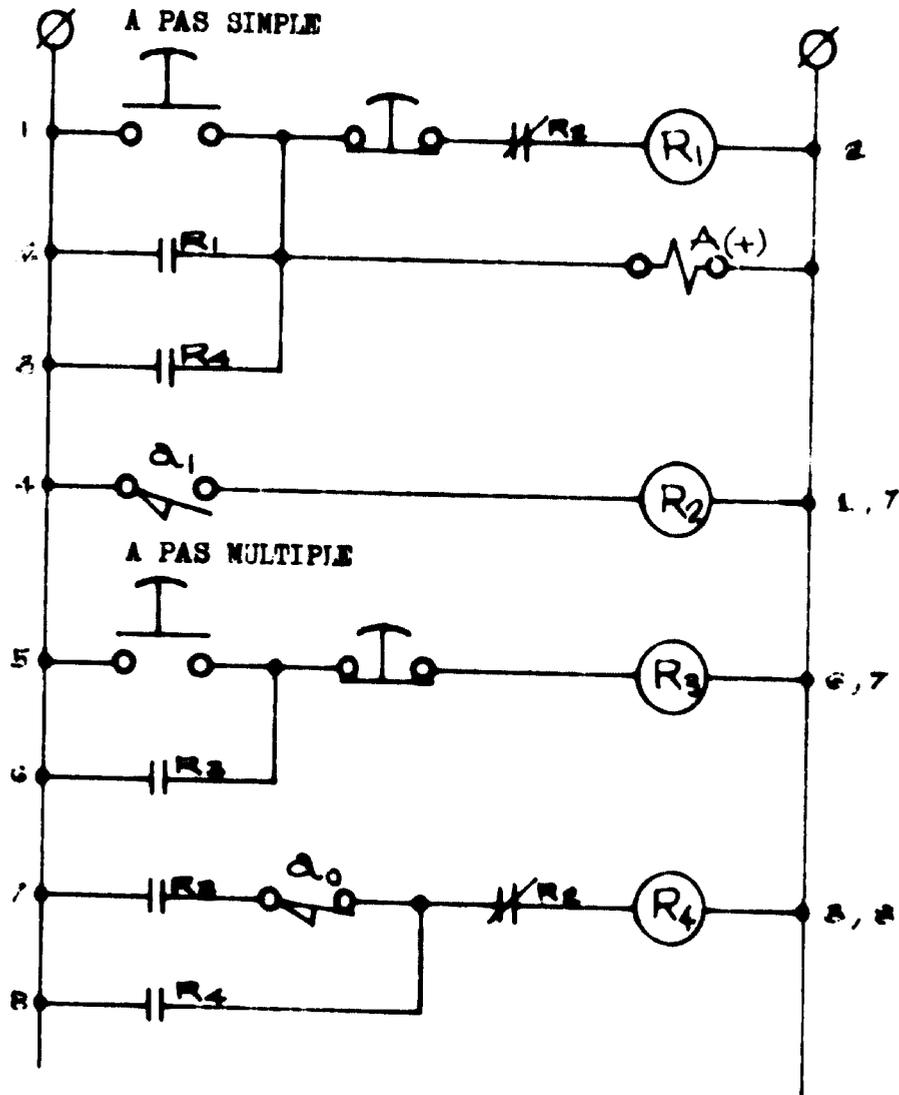


Figure No 91b) : Perceuse à colonne automatisée: schéma du circuit électrique

I. Perçage automatique avec alimentation et éjection automa- tique

La figure 92a) décrit un autre dispositif pour le perçage simple, la confection de trous de cheville, voir le mortaisage à une seule course (opérations faisant appel à une bédane). Les diagrammes temps-mouvement correspondants sont présentés dans la figure 92b).

Cet exemple se situe à un niveau d'automatisation plus élevé, puisqu'il englobe l'aménagement et l'éjection automatique de la pièce à usiner. Cependant, l'utilisation de ce dispositif dépend de l'uniformité des dimensions de la pièce à usiner, qui déterminent la localisation précise du trou.

L'alimentation se fait à l'aide du cylindre A, par l'intermédiaire d'un magasin. Lorsque la pièce à usiner est mise en place, la soupape a_1 (figure 92c)) provoque le serrage au moyen du cylindre B, puis le perçage commence. (Bien que dans la figure 92a) le mouvement d'avance de la perceuse soit animé par le cylindre pneumatique ordinaire C, il est conseillé de compléter le cylindre pneumatique par un cylindre régulateur à huile, pour les raisons qui ont déjà été exposées.) Après avoir atteint la profondeur prédéterminée par l'emplacement de la soupape c_1 , la mèche est retirée du trou, et l'éjection de la pièce à usiner se fait à l'aide du cylindre D. La trappe montrée dans la figure 92a) permet d'éviter toute confusion entre les opérations d'alimentation et les opérations d'éjection.

Dépenses d'investissement

Les éléments nécessaires à la formule exclusivement pneumatique présentée dans la figure 92c) coûtent environ 280 dollars. L'adoption d'un système électrique de commande abaisserait le coût des éléments d'au moins 60%.

Avantages

Cette utilisation de l'ACM a permis à une entreprise de multiplier sa production par plus de 6,5 (voir chapitre III, section C). Par ailleurs, au lieu des deux ouvriers spécialisés occupés à des opérations manuelles, il suffisait d'un seul ouvrier semi-qualifié, chargé de remplir le magasin alimentateur.

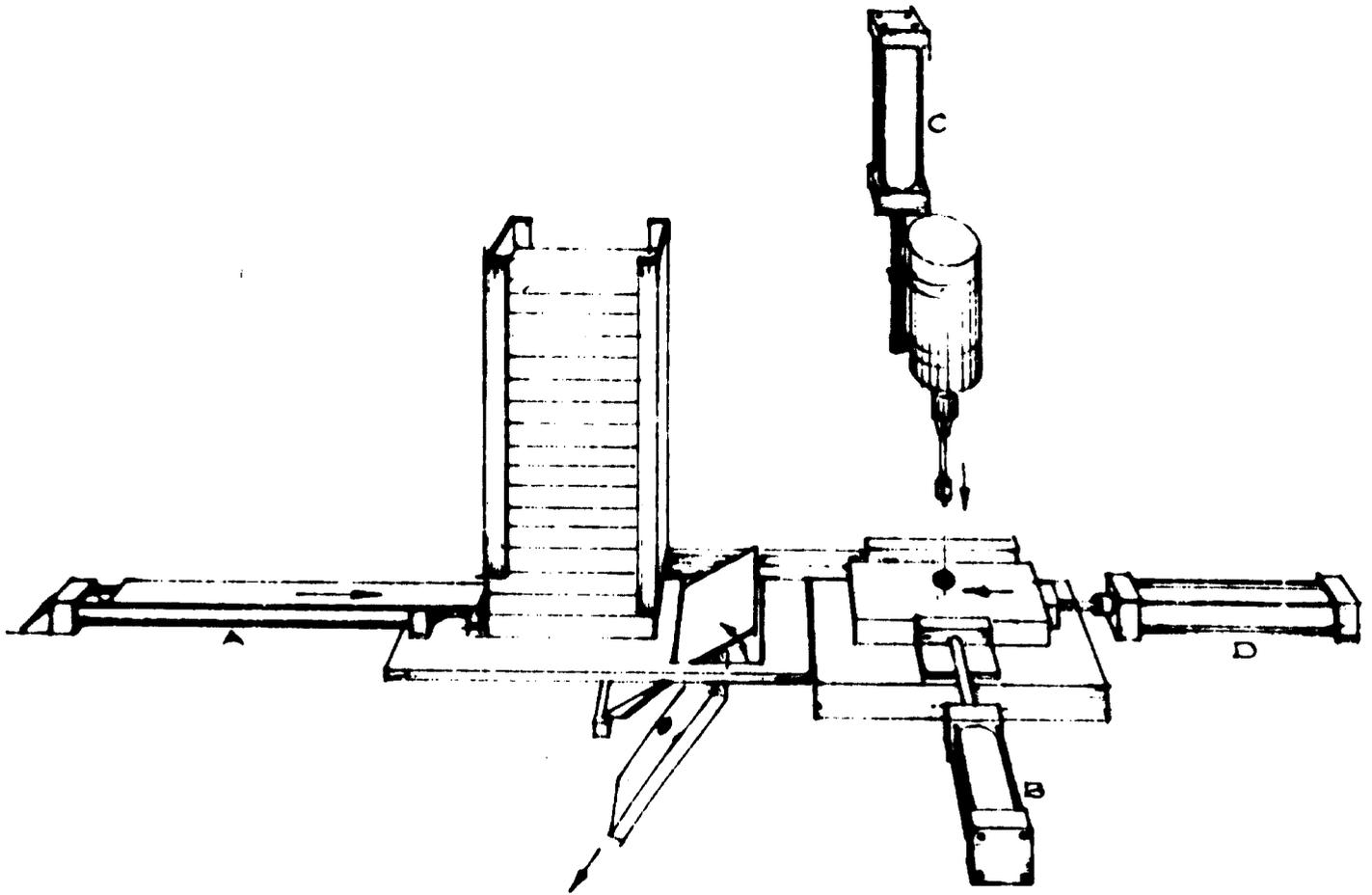


Figure No 92a) : Perçage automatique avec alimentation et éjection automatiques : schéma

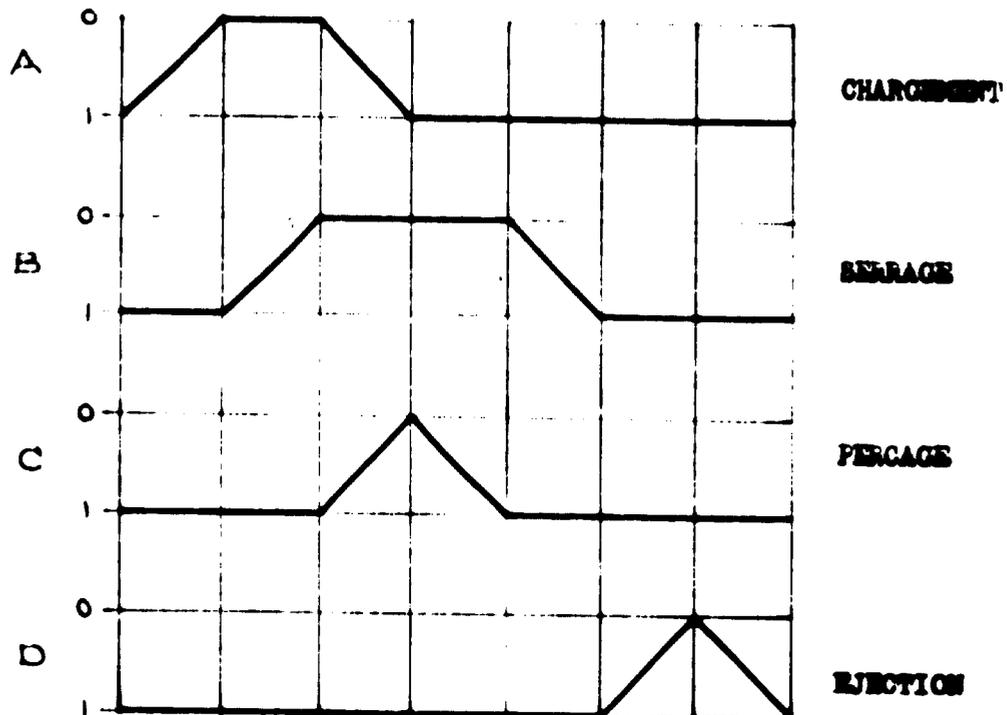


Figure No 92b) : Perçage automatique avec alimentation et éjection automatiques : diagramme temps/mouvement

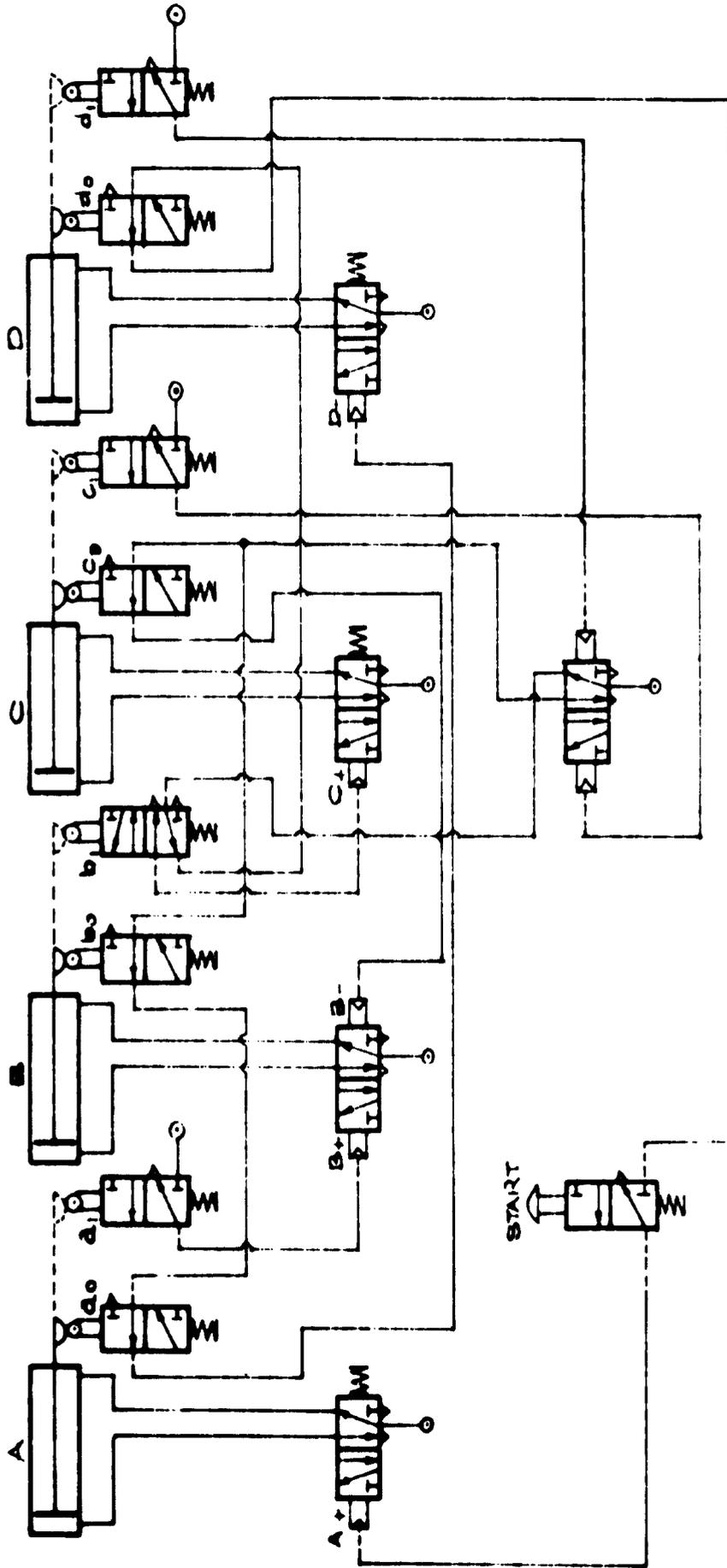


Figure No 92c) : Perçage automatique avec alimentation et éjection automatiques:
circuit pneumatique

J. Perçage de trous de cheville

Dans certains cas, les trous de cheville doivent être espacés avec précision, afin que les pièces correspondantes s'y imbriquent exactement. On trouvera aux figures 93a), b) et c) un procédé d'ACM pour résoudre ce problème. Le serrage se fait (cylindre D) quand le système est branché, que la pièce à percer a été mise en place et que l'on a pressé le bouton "marche". Lorsque la force de serrage (relayée par l'interrupteur manométrique PS) est suffisante, le premier trou est percé, puis la perceuse est retirée. Le cylindre A avance alors d'une distance déterminée par la position du contacteur a₁, et un autre trou est percé. C'est ensuite au tour du cylindre B de déplacer la perceuse sur une distance déterminée par le contacteur b, jusqu'à l'endroit où sera percé le troisième trou. (La profondeur des trous est déterminée par la position du contacteur c₁.) Lorsque le cylindre C se retire du troisième trou, les cylindres A et B retournent à leur position première, et le cylindre D desserre la pièce usinée. Le système est maintenant prêt à répéter le cycle d'opérations.

Pour des raisons de sécurité, ce dispositif est construit de façon qu'en cas de panne d'énergie, la perceuse se retire automatiquement.

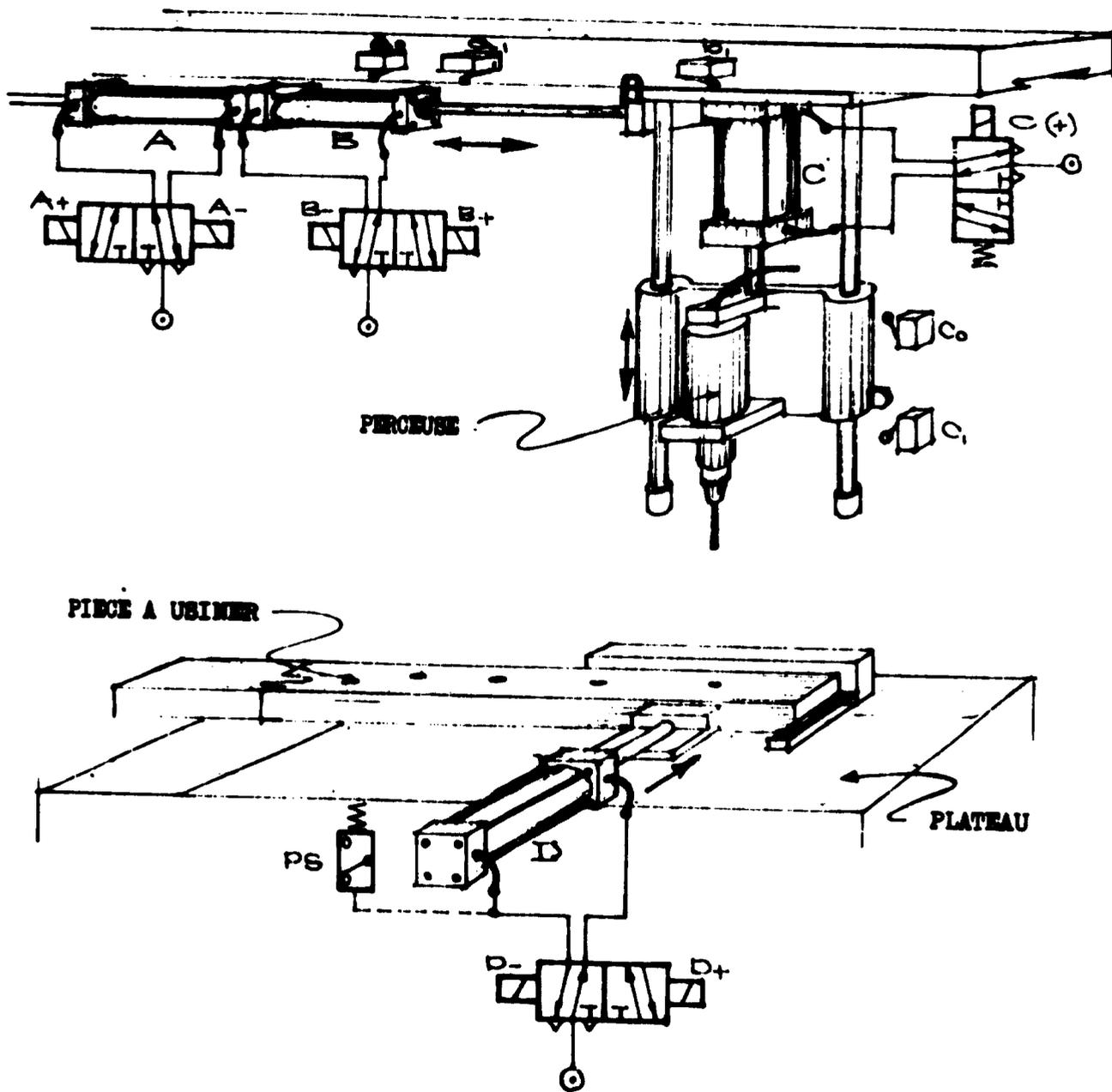


Figure No 93a) : Perceuse à cheviller : schéma

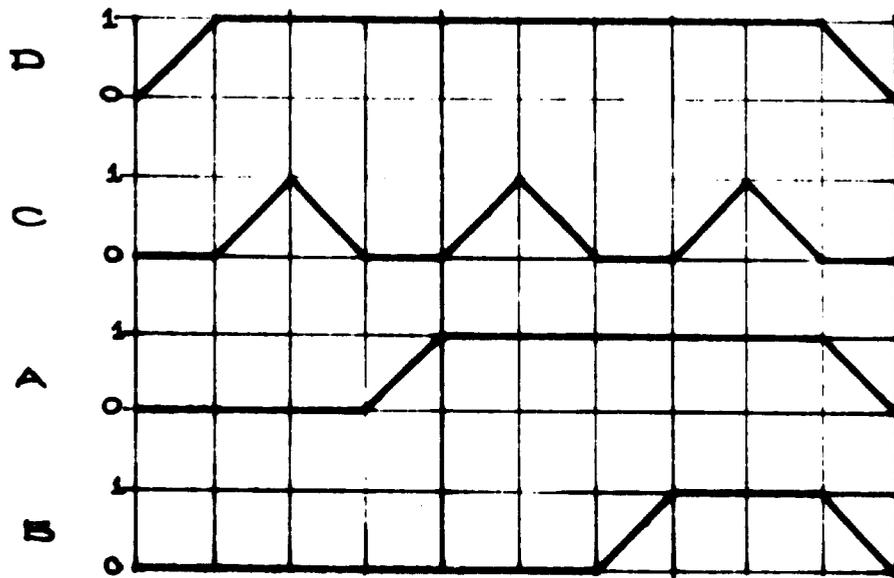


Figure No 93b) : Perceuse à cheviller : diagramme temps/mouvement

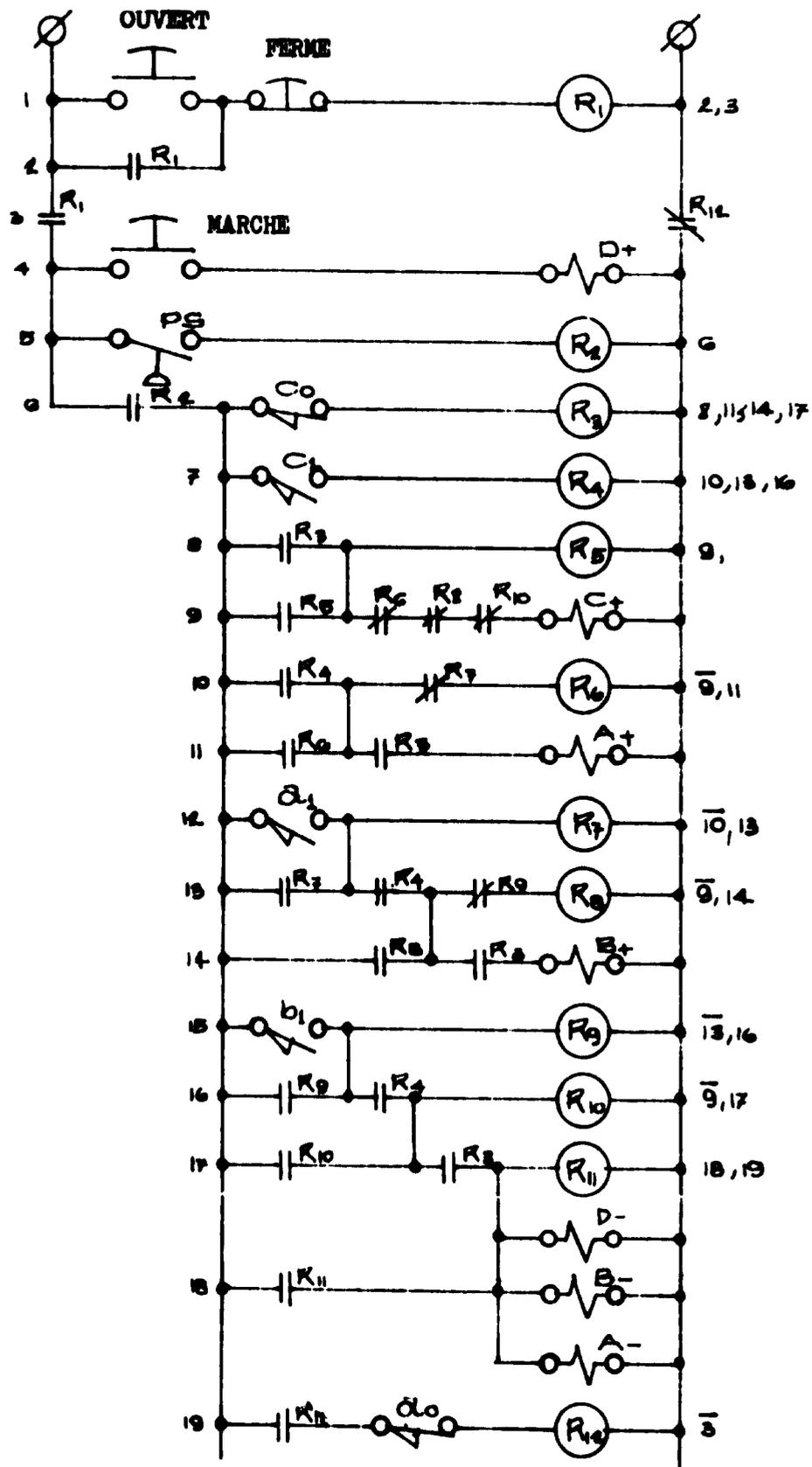


Figure No 93c) : Perceuse à cheviller : schéma du circuit électrique

Dépenses d'investissement

Eléments d'ACM	180 dollars
Prix de construction des cadres pour le dispositif	<u>120 dollars</u>
Total	<u>300 dollars</u>

Situation avant l'ACM

Coût des pièces mises au rebut pour alignement défectueux des trous	4 dollars par jour
Capacité de production (2 ouvriers qualifiés)	150 unités - " -

Situation après l'ACM

Coût des pièces mises au rebut	0,80 dollar par jour
Capacité de production	450 unités par jour

Avantages

Effectif des ouvriers ramenés à un agent (semi-qualifié) chargé uniquement d'alimenter la machine.

Investissement amorti en trois mois grâce aux seules économies réalisées par la réduction du personnel et la diminution du nombre de pièces mises au rebut.

K. Mortaiseuse pour serrures

L'emploi de la machine automatique à mortaiser les serrures qu'est présenté aux figures 94a) 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.

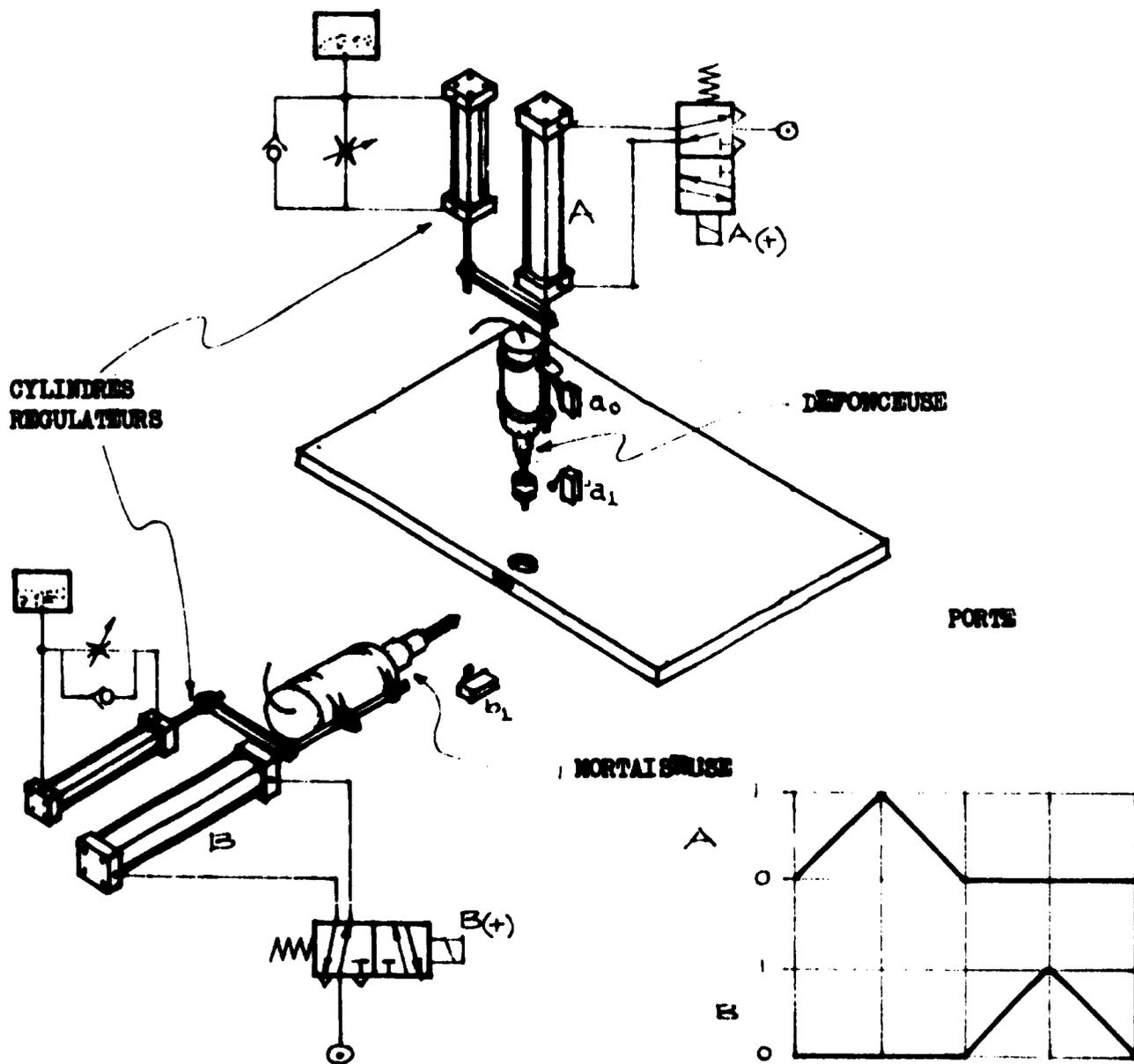


Figure No 94a) : Mortaiseuse pour serrures: schéma et-diagramme temps/mouvement

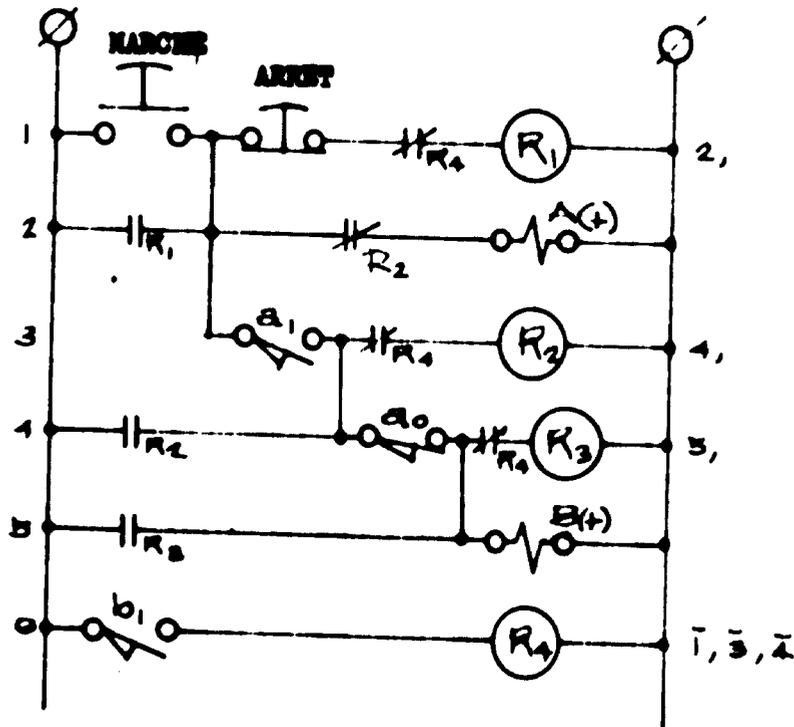


Figure No 94b) : Mortaiseuse pour serrures : schéma du circuit électrique

Dépenses d'investissement

Le coût approximatif des éléments est de 200 dollars.

Avantages

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

L. Opérations multiples sur table d'indexage

Il arrive qu'un fabricant doive exécuter plusieurs opérations sur une seule pièce à usiner (élément de jouet, par exemple). L'utilisation d'une table d'indexage standard permet d'exécuter simultanément plusieurs opérations telles que le perçage, le mortaisage ou le taraudage.

Comme le montre la figure 95a), la pièce à usiner est placée à la main au point O, après quoi différentes opérations peuvent être exécutées graduellement à différents endroits et à l'aide de différents outils. On parvient ainsi après un cycle (avec chargement continu) à l'exécution simultanée de plusieurs opérations. En d'autres termes, chaque fois qu'une pièce à usiner est fixée sur la machine, une pièce usinée en est retirée.

Les figures 95b) et c) représentent le circuit et le pupitre de commande d'une table de type classique.

Dépenses d'investissement

Un système de table d'indexage coûte environ 450 dollars, selon la précision de l'indexage recherchée.

Avantages

Selon le nombre des opérations, la production peut être multipliée par 5. En outre, les produits obtenus sont uniformes.

M. Encolleuse

On trouvera à la figure 96 le schéma d'une machine automatique à étendre la colle. A l'aide d'un magasin et du cylindre A, des morceaux de bois sont amenés à l'ouvrier chaque fois qu'il actionne du pied une soupape à cinq orifices, deux positions et ressort de retour. Pendant que le bois est amené à l'ouvrier, la soupape s'ouvre et la colle contenue dans le réservoir se répand sur le bois. Ce dispositif permet de répartir uniformément la quantité voulue de colle sur la pièce usinée, grâce au réglage de la vitesse d'alimentation et au choix d'une embouchure de taille voulue pour l'écoulement de la colle.

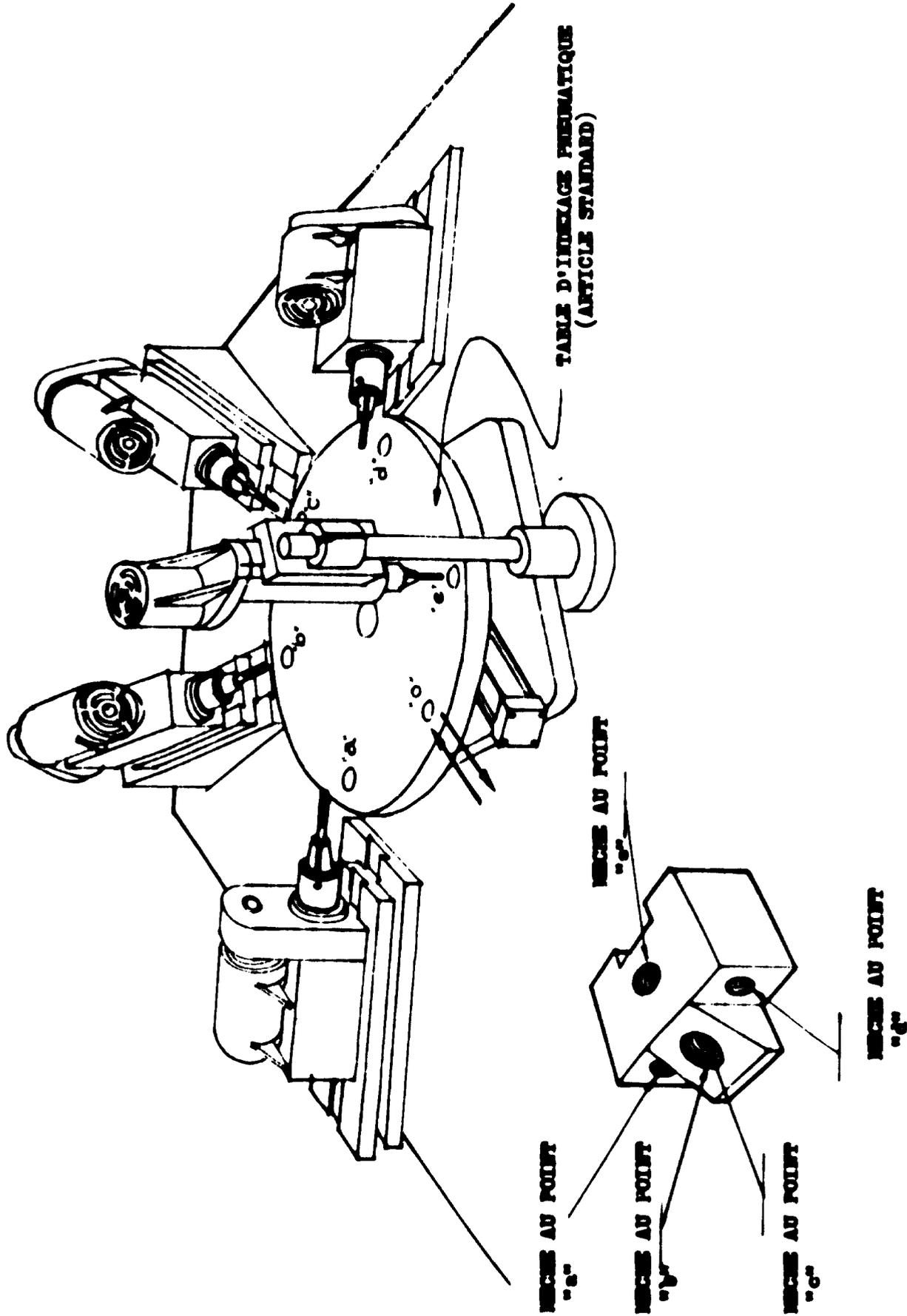


TABLE D'INDEXAGE PRISMATIQUE
(ARTICLE STANDARD)

Figure No 95a) : Table d'indexage : schéma

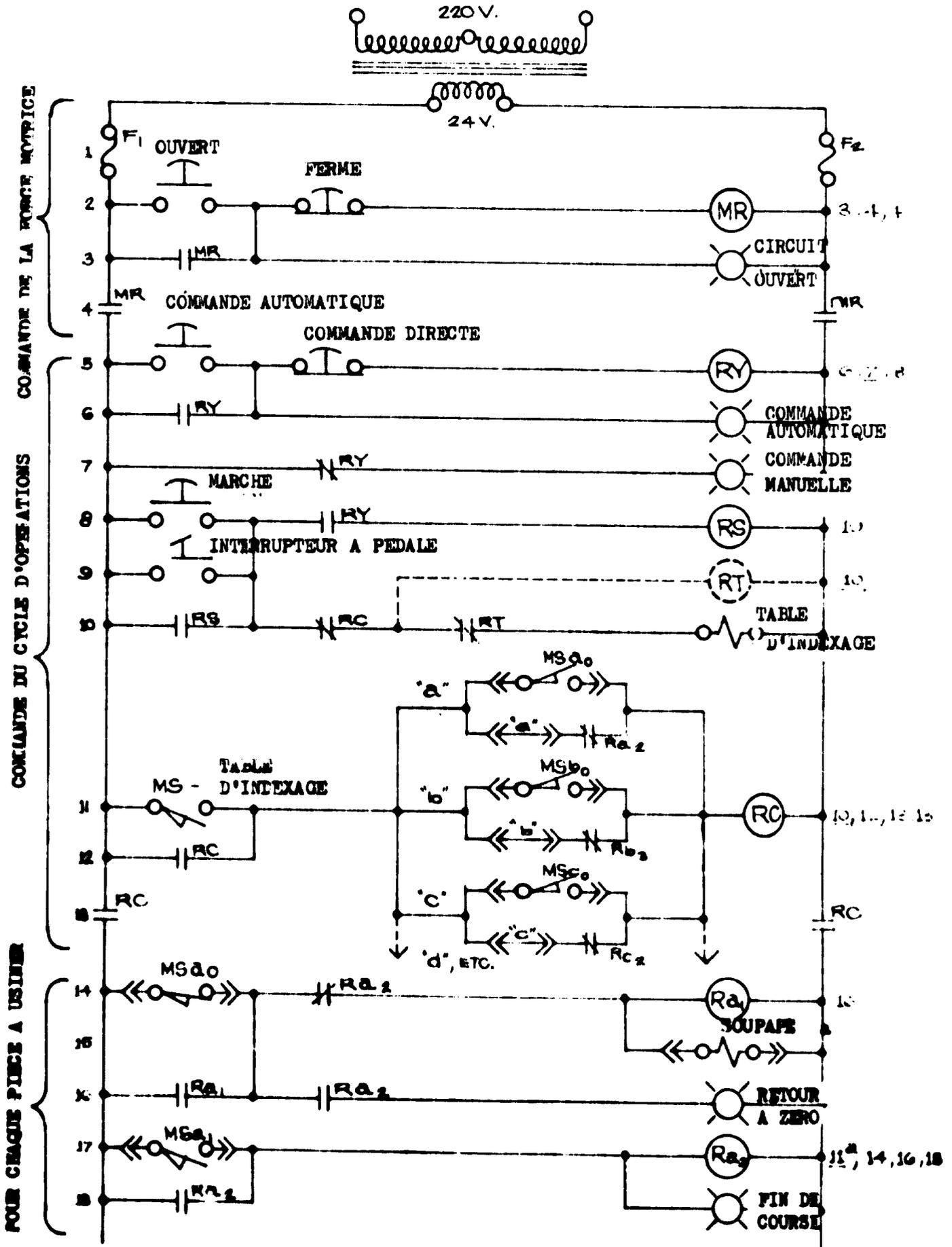


Figure 95b) : Table d'indexage : circuit

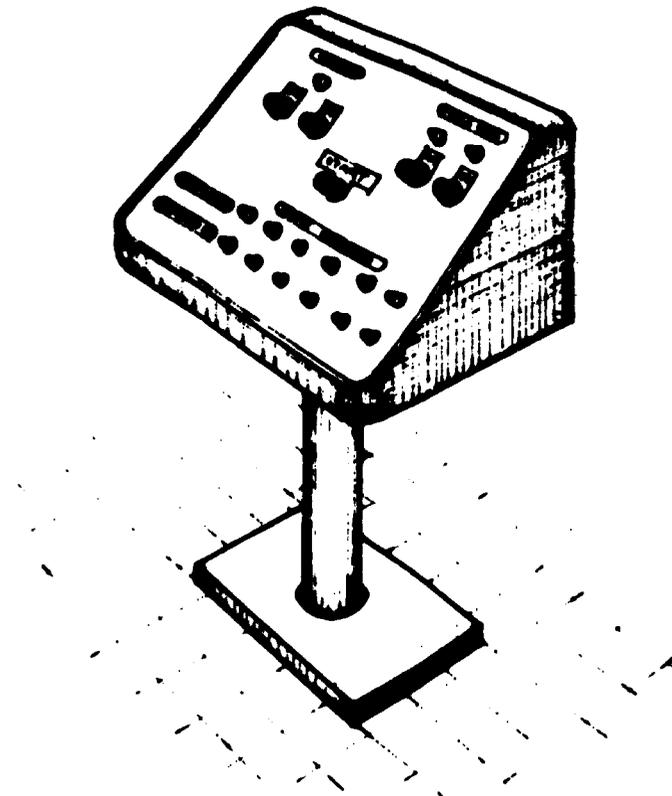
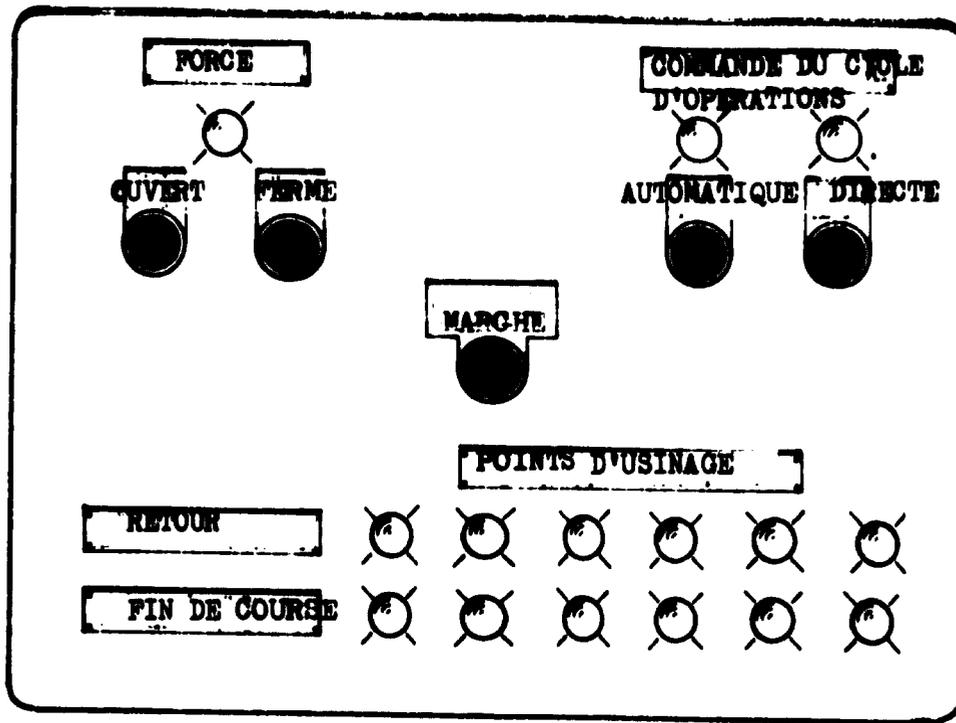


Figure No 950) : Table d'indexage : Pupitre de commande

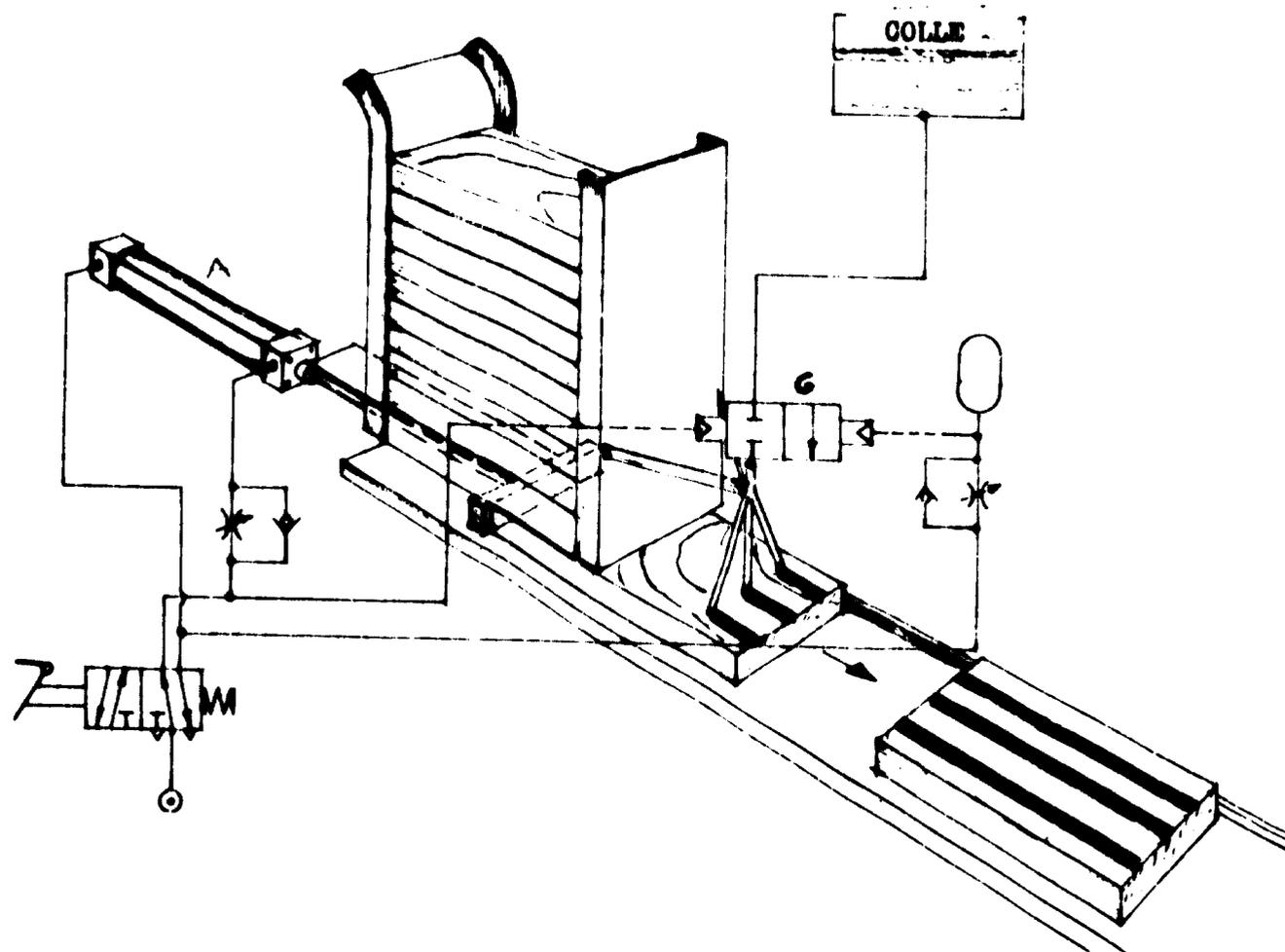


Figure No 96 : Encolleuse

Dépenses d'investissement

Le coût des éléments est d'environ 70 dollars

Avantages

En une seule année, une entreprise ayant adopté ce dispositif a économisé 1 800 dollars, uniquement sur la consommation de colle. En outre, les dépenses de main-d'oeuvre ont diminué de 1 300 dollars par an. L'entreprise est ainsi devenue compétitive, et a pu envisager une expansion de ses activités.

N. 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 97a), 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 600 dollars.

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.

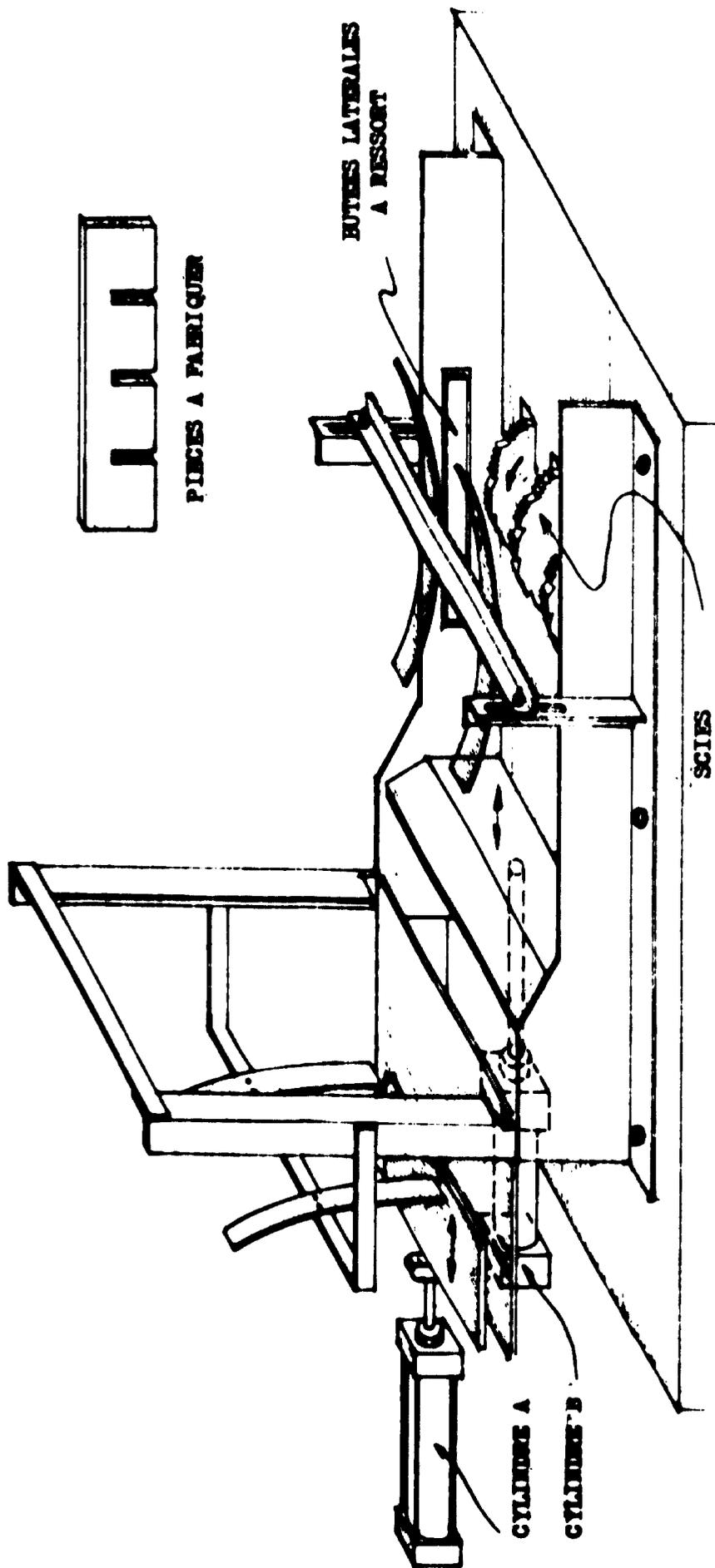


Figure No 97a) : Machine à entailler les cloisons de casiers de bouteilles:vue générale

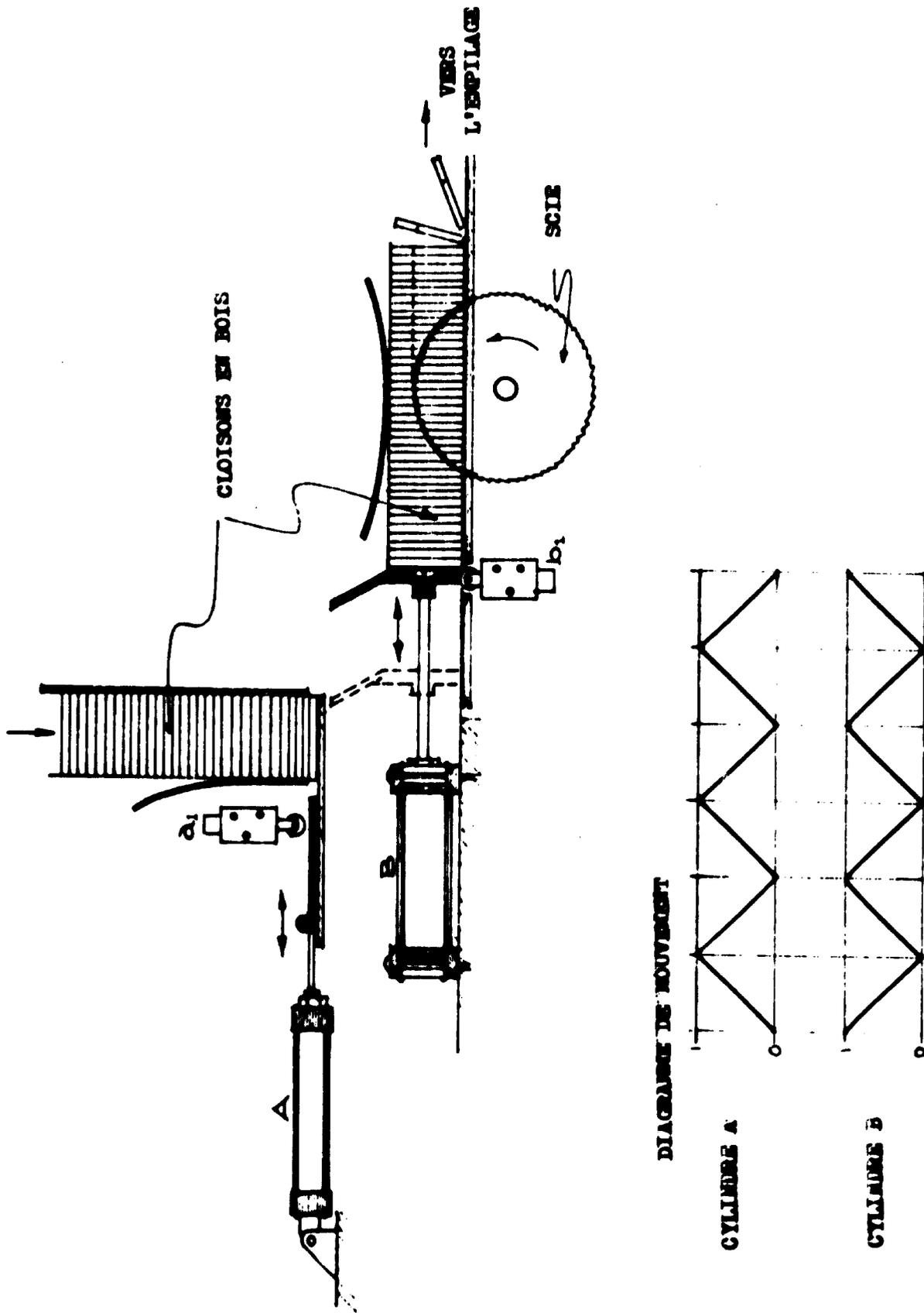


Figure No 97b) : Machine à entailler les cloisons de casiers à bouteilles:vue latérale et diagramme temps/mouvement

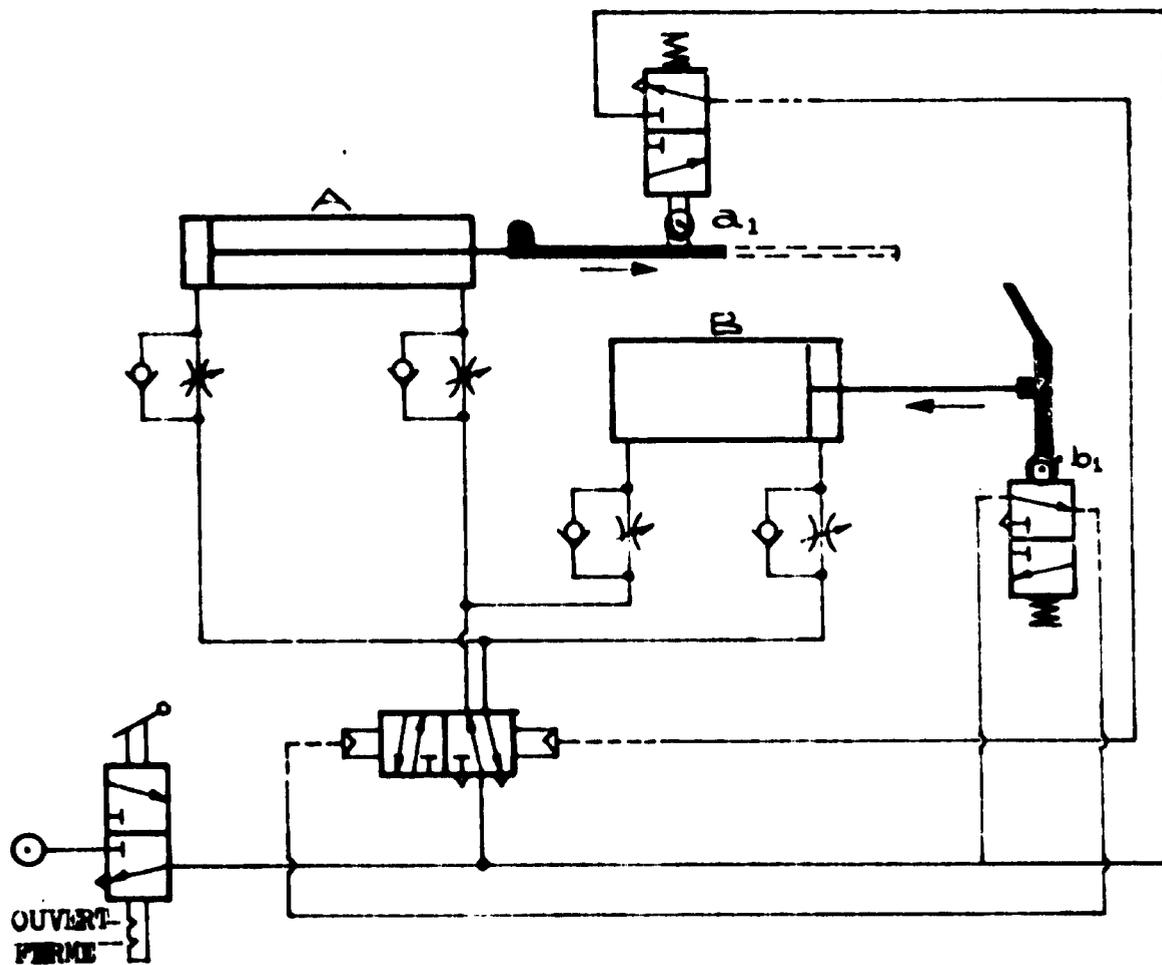


Figure No 97c) : Machine à entailler les cloisons de caissiers à bouteilles: schéma du circuit pneumatique

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

Les figures 98a), b) et c) représentent une machine à ACM qu'utilise une fabricant de caisses de postes de radio et de télévision pour l'opération difficile qui consiste à faire des rainures dans la couverture en contreplaqué des écrans de haut-parleur. Auparavant, ces rainures étaient faites à l'aide d'une défonceuse. Le panneau de contreplaqué 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 contreplaqué 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 800 dollars.

Avantages

Cet emploi de l'ACM a permis d'augmenter la capacité de l'usine de 250% et de rendre négligeable des pièces mises au rebut, soit une économie de 4 000 dollars par an. Mieux encore, l'opération peut maintenant être confiée à un personnel moins qualifié.

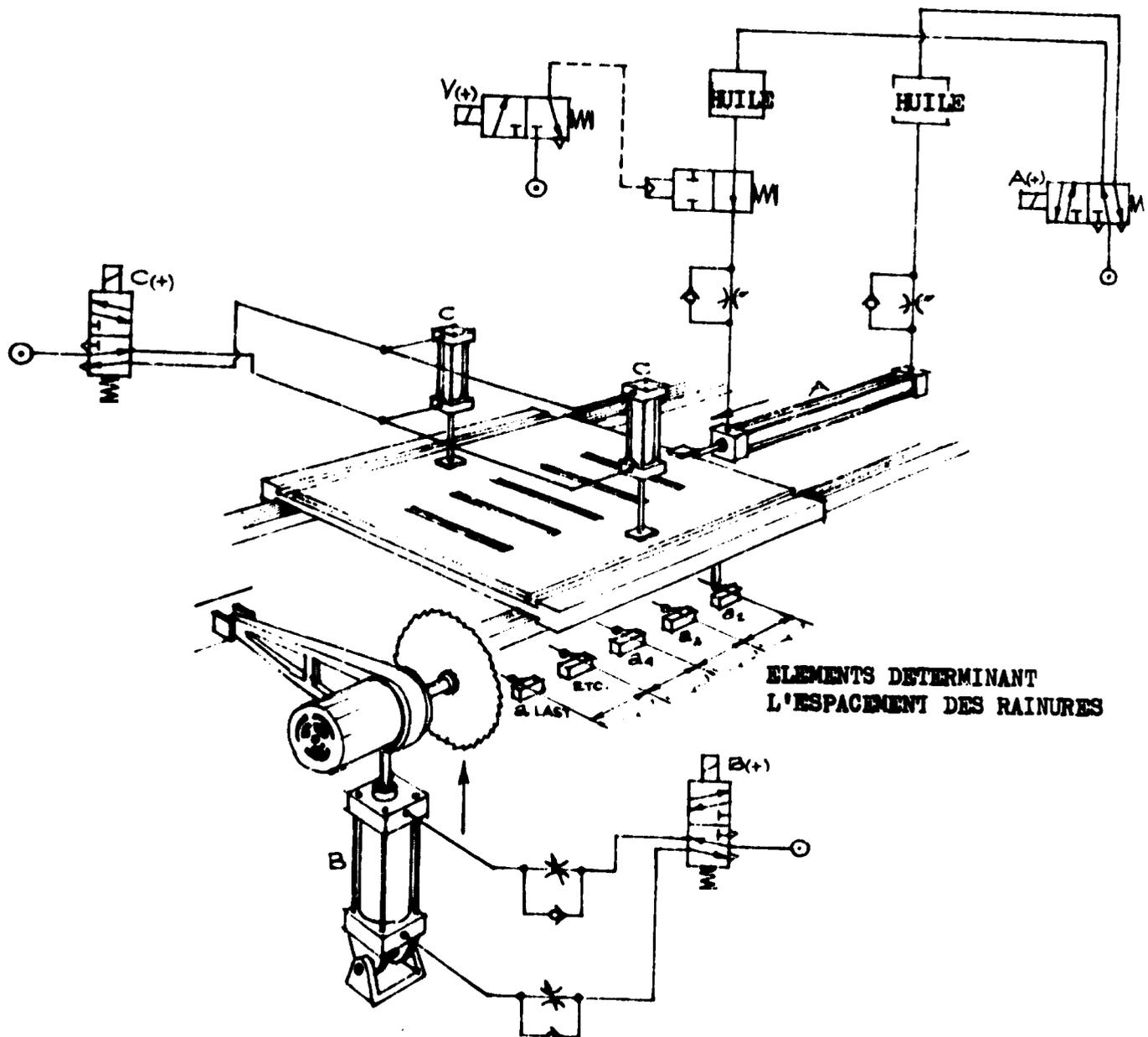


Figure No 98a): Machine à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision : schéma

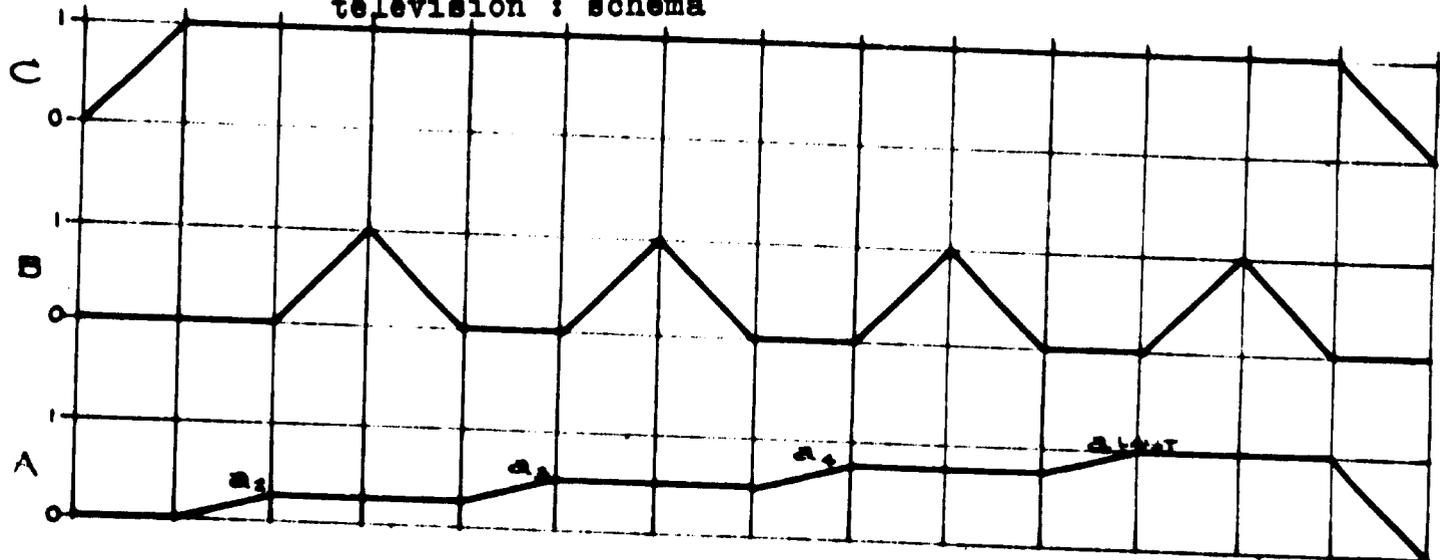


Figure No 98b): Machine à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision : diagramme temps/mouvement

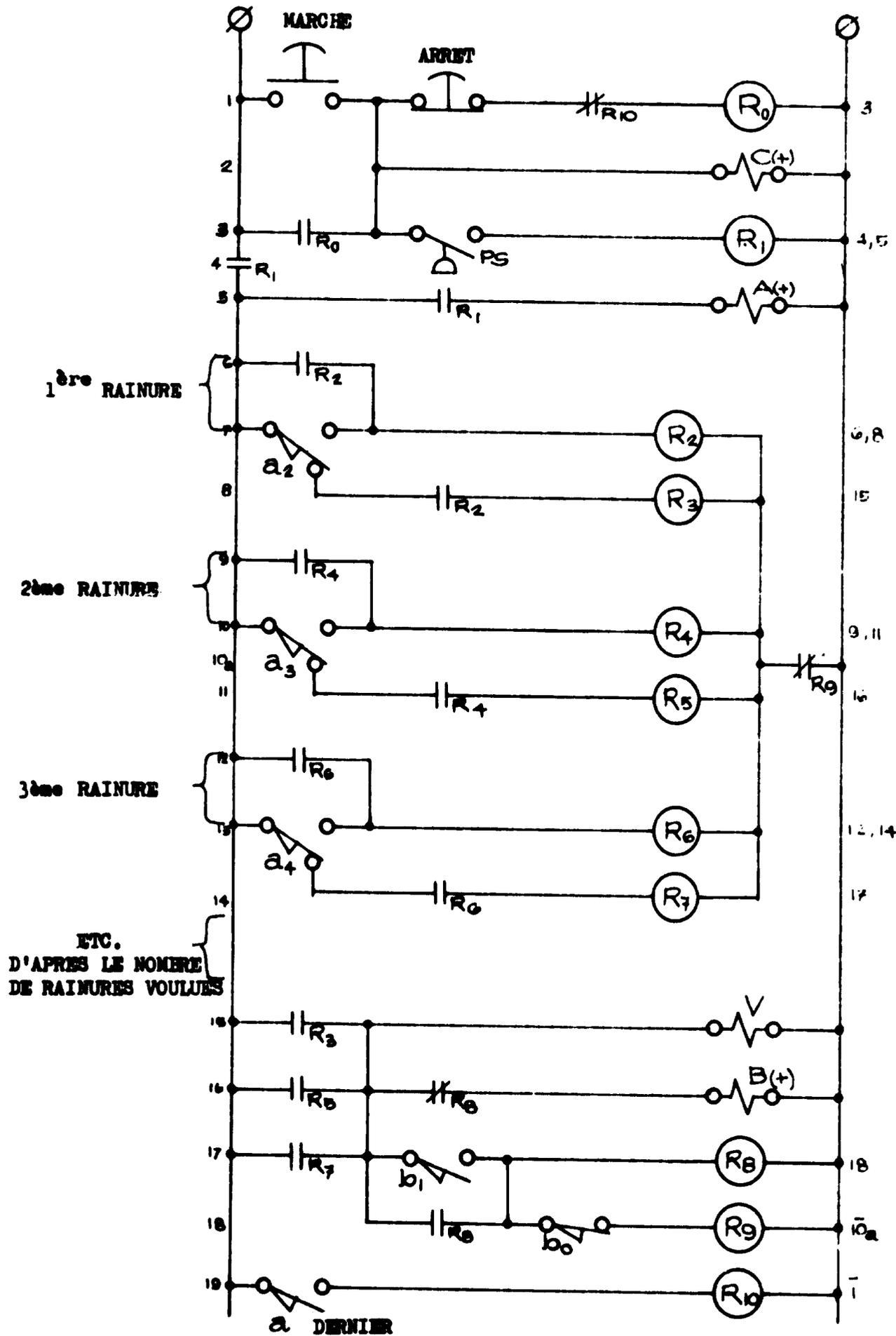


Figure No 980) Machine à rainurer les caisses de postes de radio et de télévision : circuit électrique

P. 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 99a) 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.

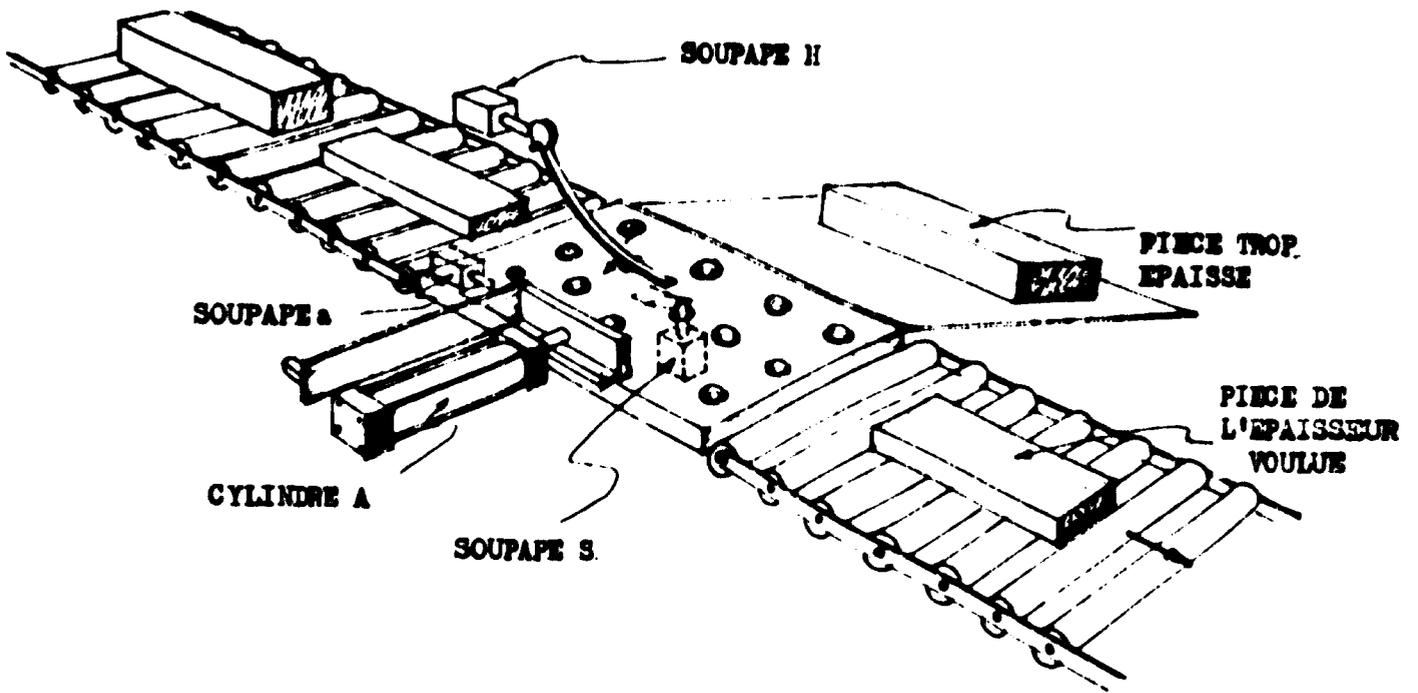


Figure No 99a): Sélecteur d'épaisseur : vue générale

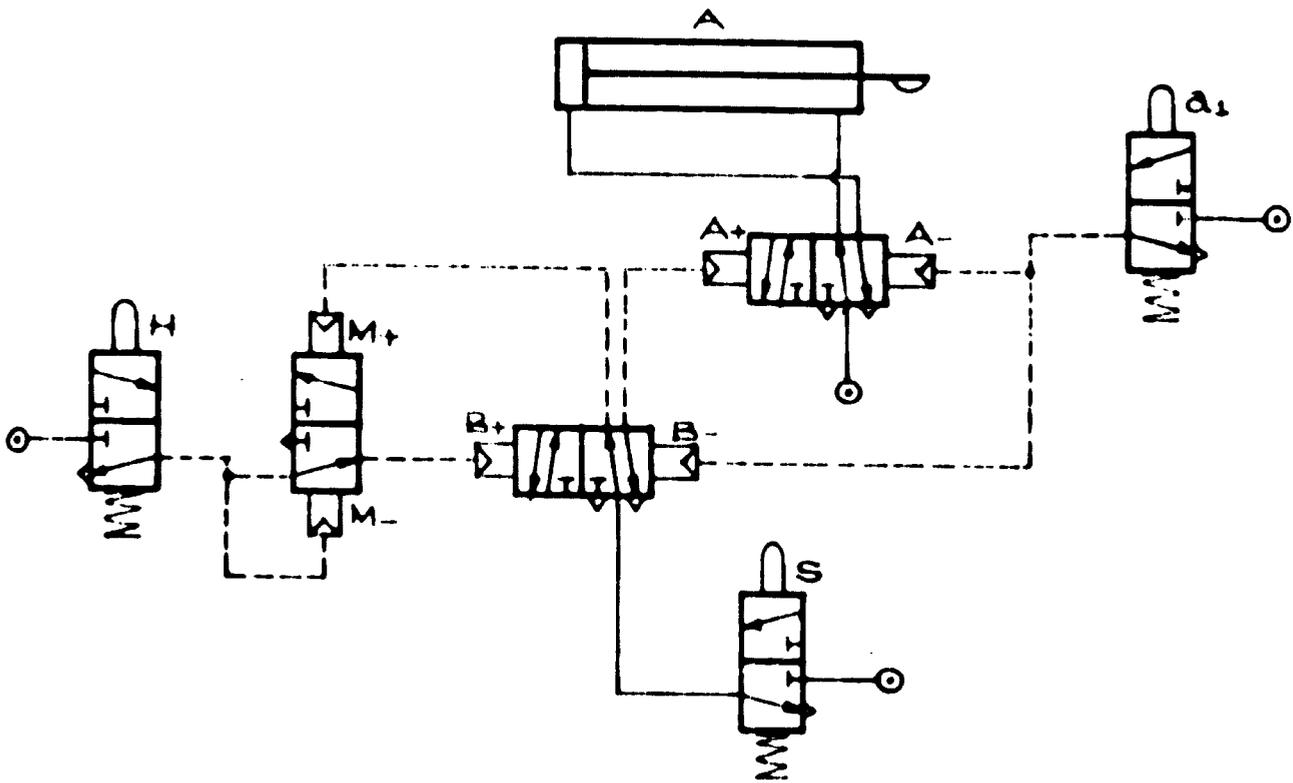


Figure No 99b): Sélecteur d'épaisseur : circuit pneumatique

Dépenses d'investissement

Les éléments pneumatiques coûtent 80 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.

Q. 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:

- 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 100a) à 100d) 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 700 dollars environ, et peut être amortie en cinq mois.

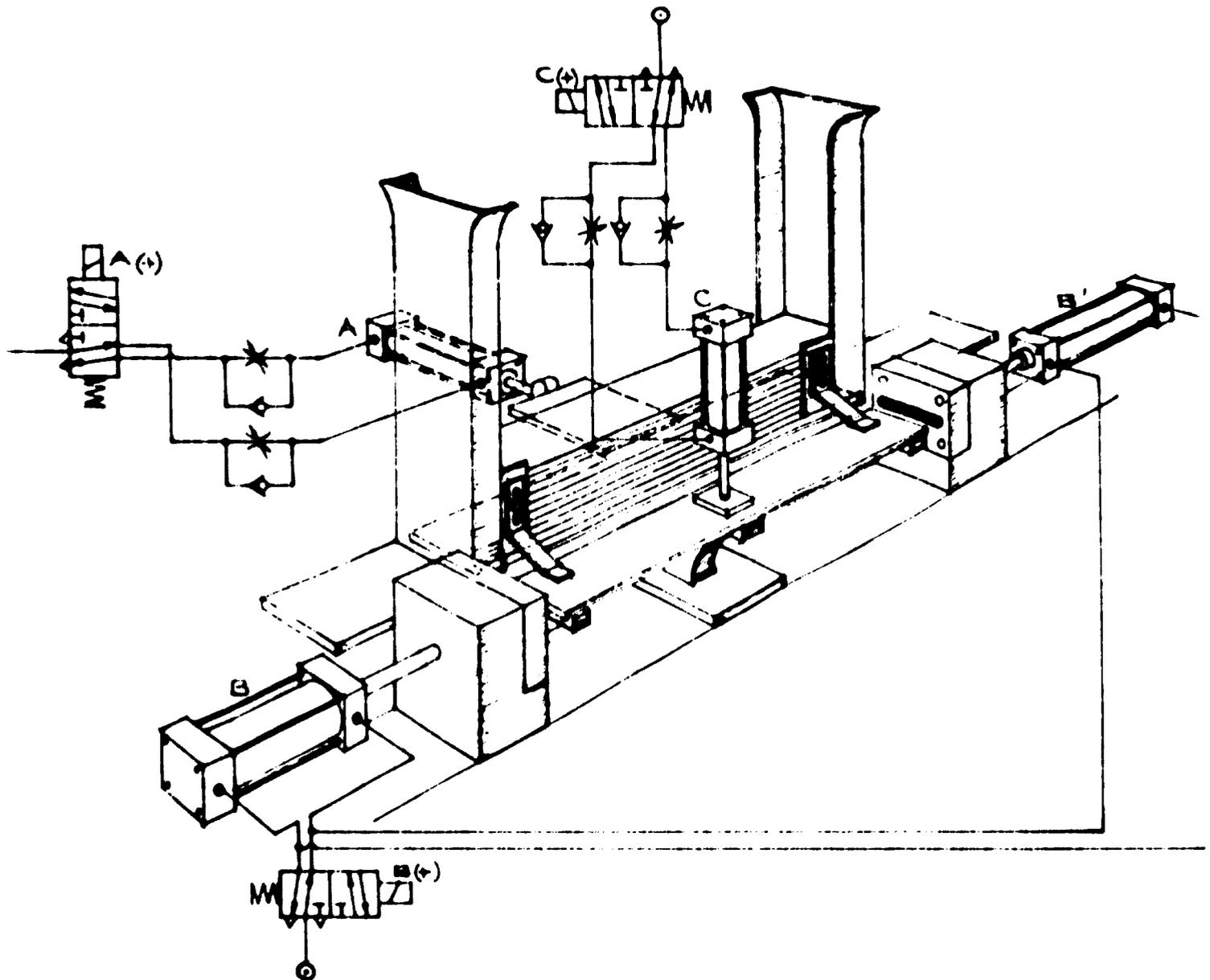


Figure No 100a) : Presse à refouler : vue générale

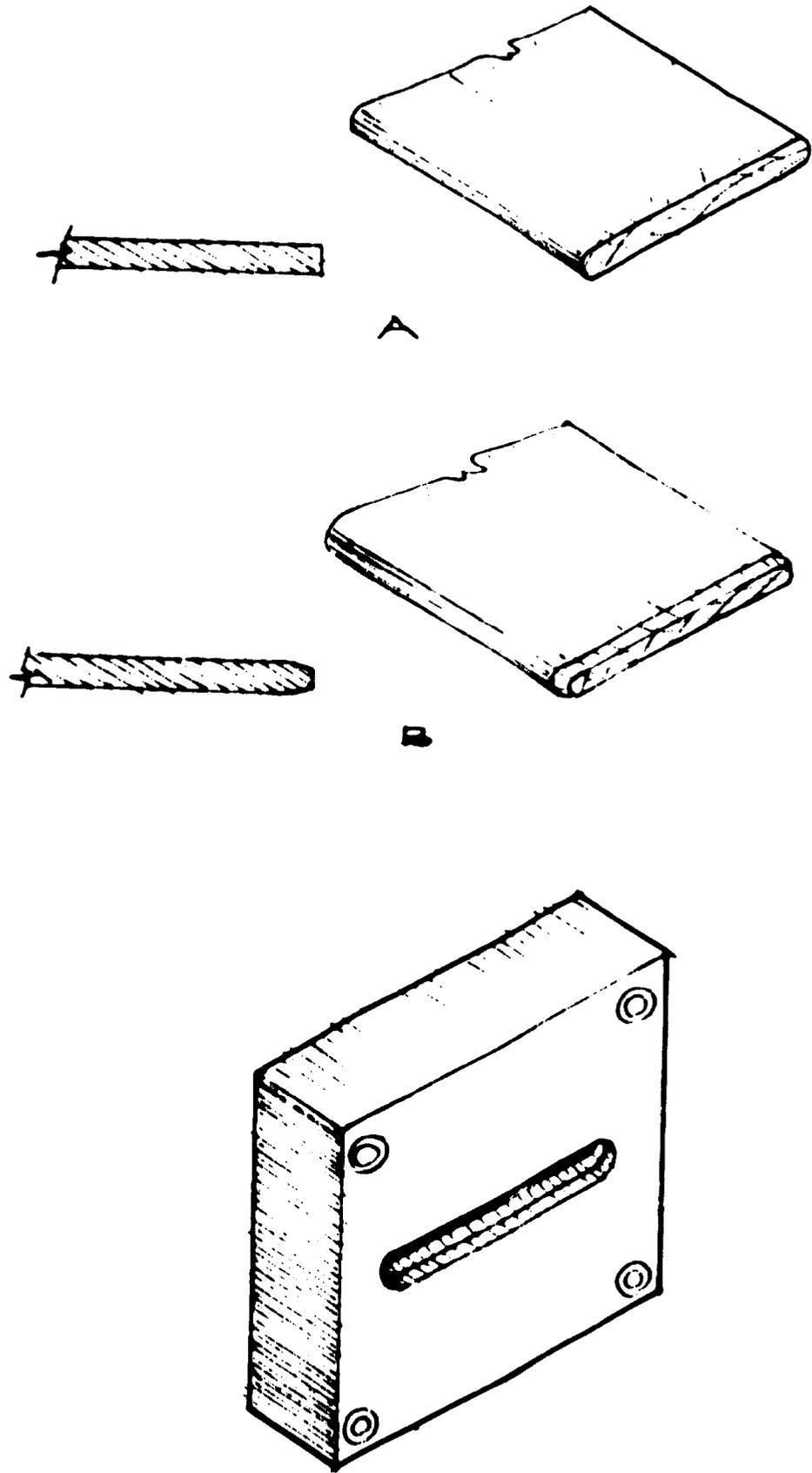


Figure No 100b) : Presse à refouler : matrice

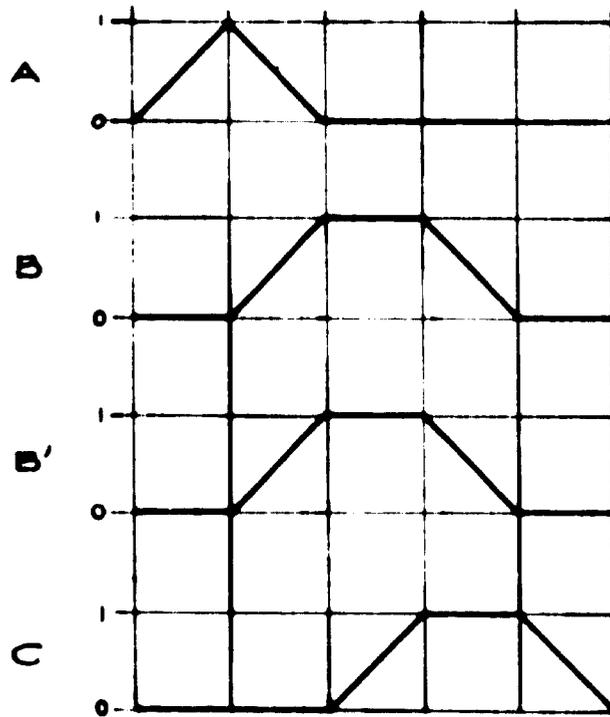


Figure No 100c) : Presse à refouler : diagramme temps/mouvement

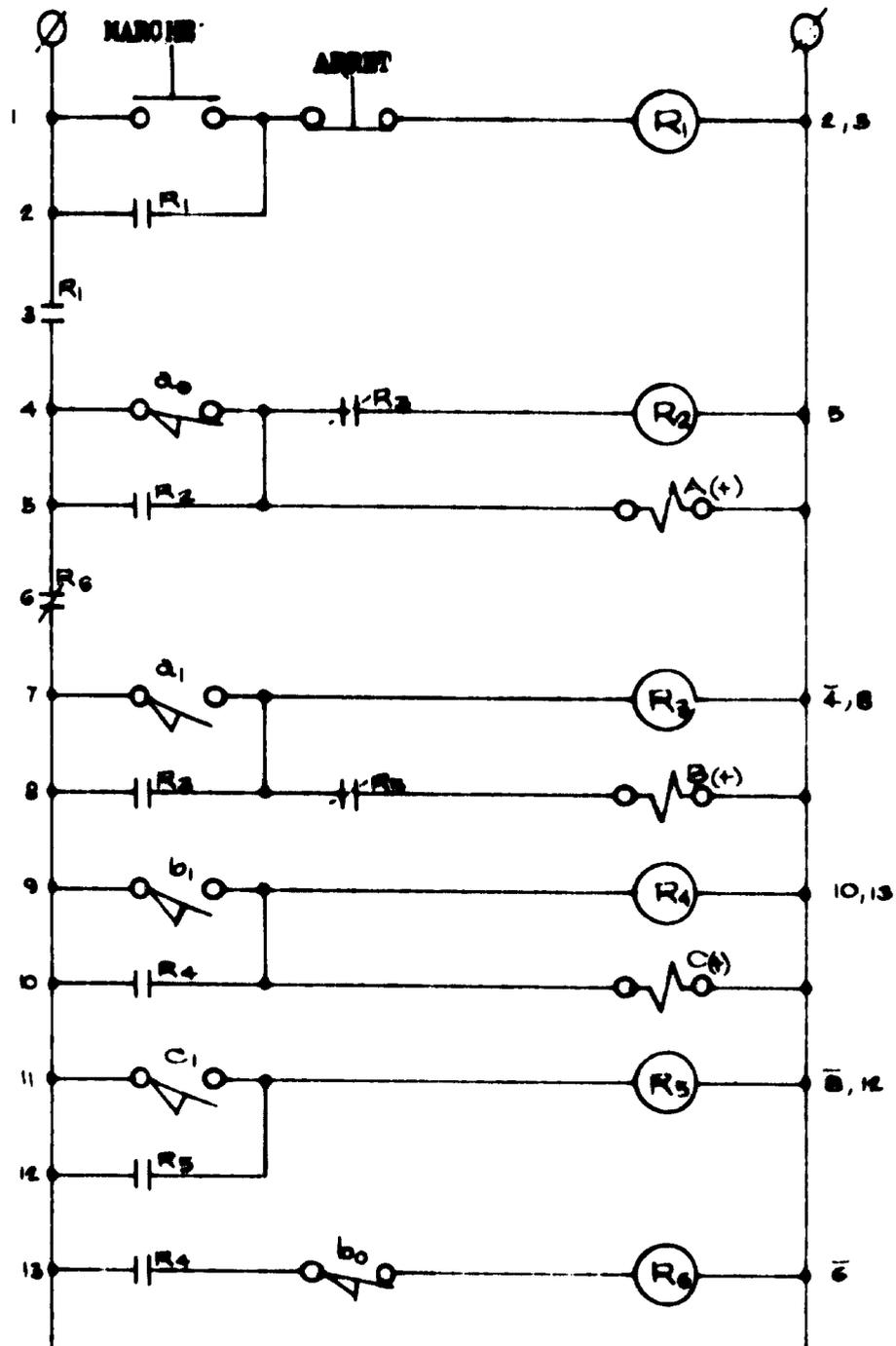


Figure No 100d) : Presse à refouler : circuit électrique

R. Transporteur de retour

En général, il faut deux ouvriers pour faire marcher une raboteuse: un alimente la machine, et l'autre saisit les planches rabotées pour les repasser au premier ouvrier qui les introduit à nouveau dans la machine. C'est là un exemple de gaspillage de la main-d'oeuvre. En utilisant deux transporteurs fonctionnant en sens inverse, ainsi qu'un cylindre pneumatique, on peut simplifier le retour des pièces usinées et réduire la main-d'oeuvre à un seul ouvrier (voir figure 101). Les planches sortant de la raboteuse (ou d'une machine analogue) sont emportées par le premier transporteur. Quand le bois parvient à la butée oblique, il tombe sur le transporteur de retour pour être à nouveau usiné. Activé par une soupape à pédale, le cylindre pneumatique laisse le passage libre aux pièces usinées.

Les éléments pneumatiques coûtent environ 40 dollars.

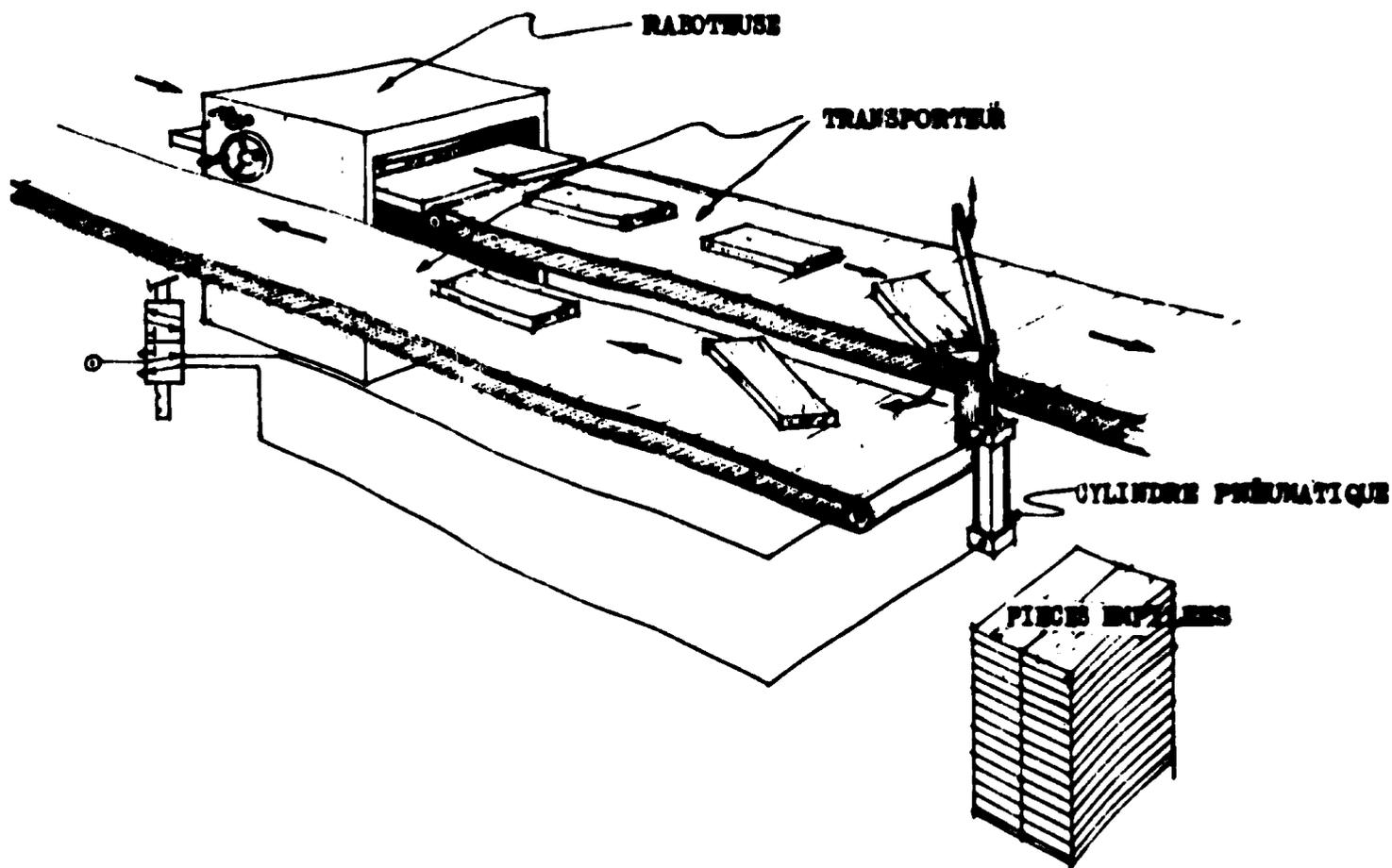


Figure No 101 : Transporteur de retour

S. Défonceuse à contourner

Le dispositif présenté dans la figure 102 est d'une grande utilité pour découper des morceaux d'une certaine forme dans des pièces de bois planes, surtout quand il s'agit de quantités importantes. La pièce à usiner est bien fixée sur le cadre de montage, et celui-ci est ajusté sur le plateau de la défonceuse. Quand le cylindre pneumatique est activé, la roue dentée entraîne le cadre, selon un mouvement guidé par le cylindre pneumatique. La forme de la pièce découpée est déterminée par celle de la chaîne d'entraînement.

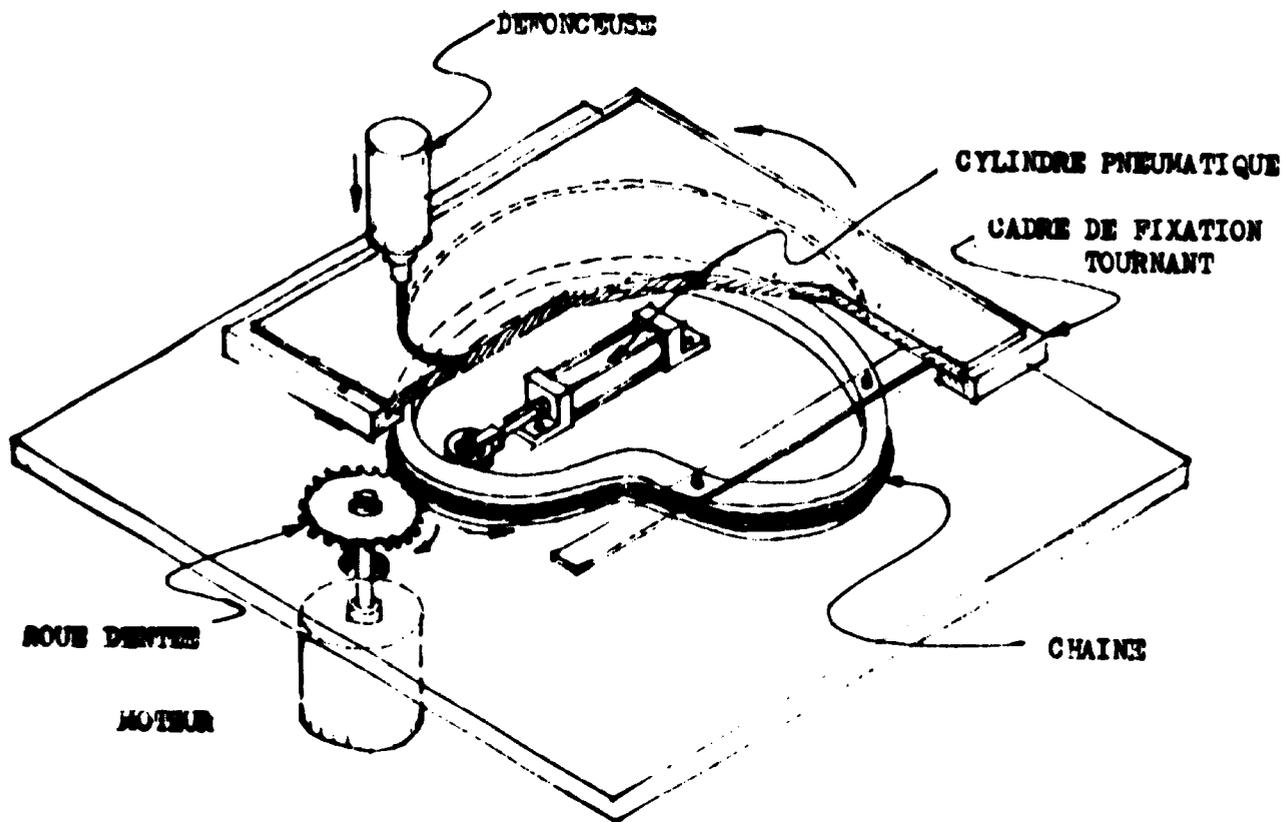


Figure No 102 : Défonceuse à contourner

Dépenses d'investissement

Les éléments d'ACM coûtent environ 180 dollars.

Avantages

On peut obtenir une augmentation de production de 400%, et un travail de qualité satisfaisante et régulière.

T. Accessoires pour reproduire

On trouvera aux figures 103a) et b) des accessoires d'ACM pour reproduire, destinés à des tours à bois ordinaires. Comme le mouvement des outils doit être précis, ce sont des éléments hydrauliques qui sont utilisés. La formule proposée est donc assez coûteuse (1 000 dollars) et son adoption ne peut se justifier que par des raisons spéciales, qui dépassent généralement l'accroissement de la productivité.

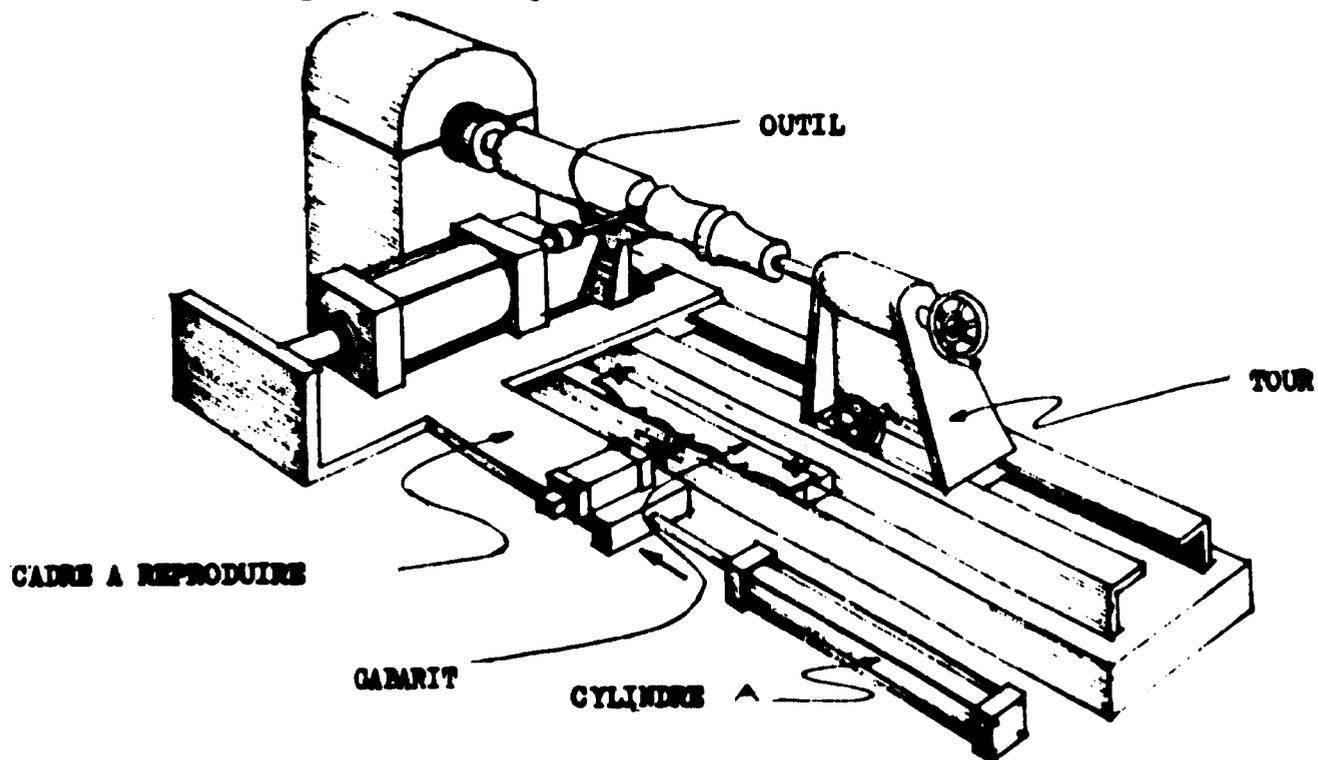
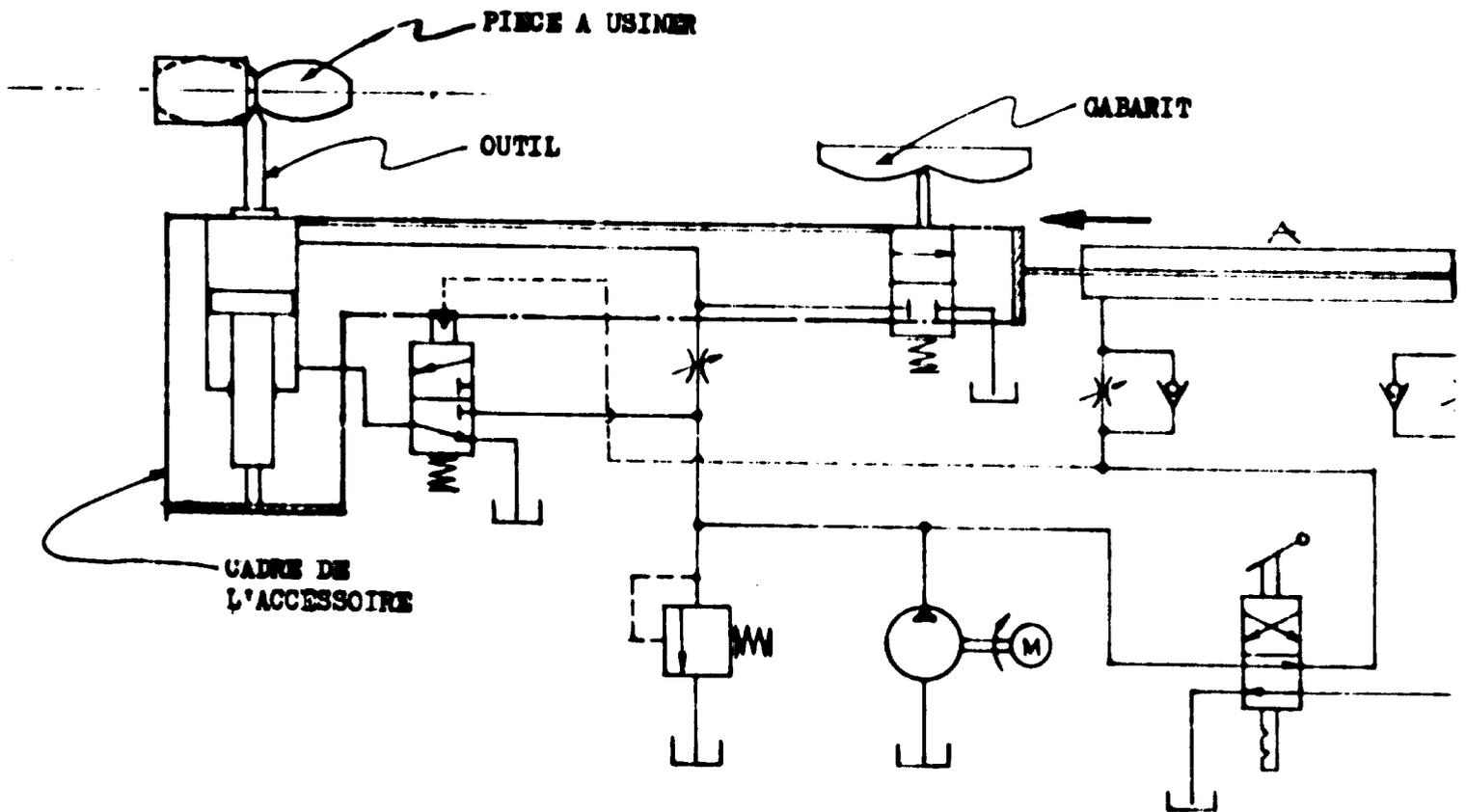


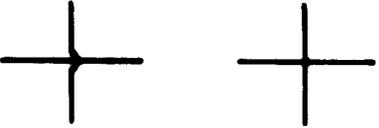
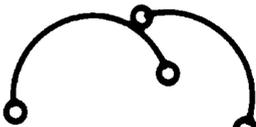
Figure No 103a) : Accessoires pour reproduire:vue générale



Annexe I

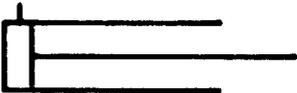
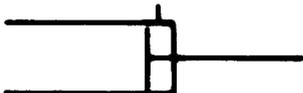
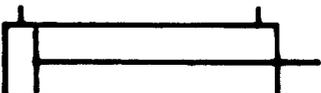
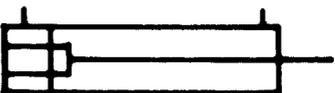
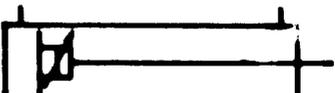
QUELQUES SYMBOLES NORMALISES DE CIRCUIT

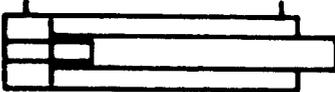
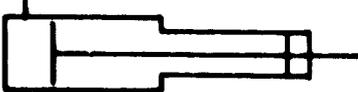
TUYAUTERIE ET RACCORDS

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 ETROUPEMENT FIXE
	CONDUITES A ETROUPEMENT REGLABLE
	CONDUITE FLEXIBLE

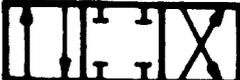
SYMBOLE	DEFINITION
	PRISE DE FORCE BOUCHEE
 ACCOUPLE  DESACCOUPLE	RACCORDEMENT RAPIDE SANS CLAPETS
 ACCOUPLE  DESACCOUPLE	RACCORDEMENT RAPIDE AVEC CLAPETS
 ACCOUPLE  DESACCOUPLE	RACCORDEMENT RAPIDE AVEC UN SEUL CLAPET

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

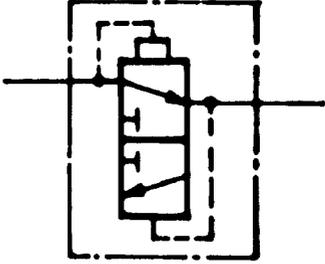
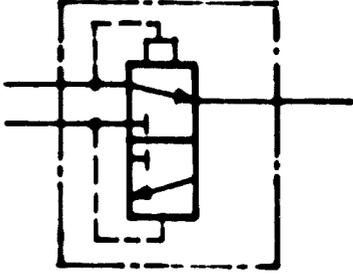
DISTRIBUTEURS PNEUMATIQUES

	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 POUSSIERES, PAR EX.)
	4/3 QUATRE ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES POSITION CENTRE FERME

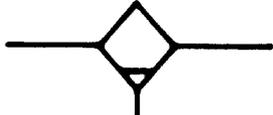
SYMBOLE	DEFINITION
	5/3 CINQ ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES, DEUX ORIFICES OUVERTS A LA PRESSION EN POSITION CENTRE
	4/3 QUATRE ORIFICES, TROIS POSITIONS DISTINCTES, 1 ORIFICE OUVERT A L'ECHAPPEMENT EN POSITION CENTRE
	LIMITEUR DE PRESSION SYMBOLE SIMPLIFIE
	SOUPAPE DE SEQUENCE
	DETENDEUR (REDUCTEUR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

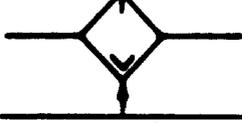
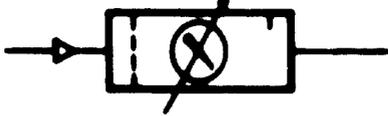
REGLEURS PNEUMATIQUES AUXILIAIRES

	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

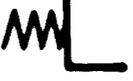
SYMBÔLE	DEFINITION
	<p>SOUPEPE D'ECHAPPEMENT RAPIDE</p>
	<p>SELECTEUR DE CIRCUIT</p>
	<p>SELECTEUR DE CIRCUIT (SIMPLIFIE)</p>

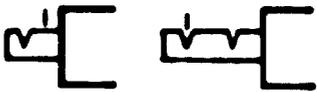
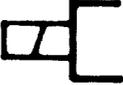
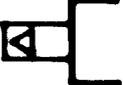
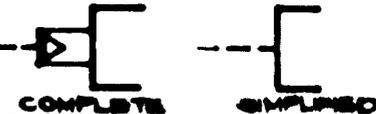
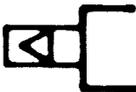
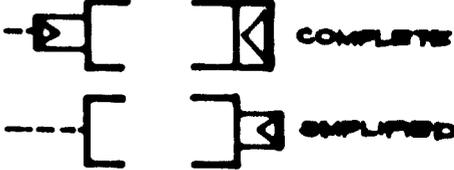
MATERIEL DE TRAITEMENT DE L'AIR

	<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>

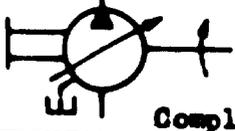
SYMBOLE	DEFINITION
	LUBRIFICATEUR SANS PURGE
	LUBRIFICATEUR A REMPLISSAGE MANUEL
	LUBRIFICATEUR A REMPLISSAGE AUTOMATIQUE
	TRIPLE UNITE POUR CONDUITE D'AIR FILTRE - REGULATEUR - LUBRIFICATEUR (SIMPLIFIE)

COMMANDES D'APPAREILS

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

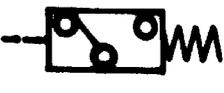
SYMBOLE	DEFINITION
	<p>ENCLIQUETAGE (LE TRAIT INDIQUE LE CRAN UTILISE)</p>
	<p>ELECTRO-AIMANT</p>
	<p>COMMANDE PAR DISTRIBUTEUR - PILOTE ACTIONNE DE L'INTERIEUR PAR APPLICATION DE PRESSION</p>
	<p>COMMANDE PAR DISTRIBUTEUR - PILOTE ACTIONNE A DISTANCE PAR APPLICATION DE PRESSION</p>
	<p>COMMANDE PAR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

SOURCES D'ÉNERGIE OU DE PUISSANCE

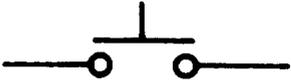
SYMBÔLE	DEFINITION
	COMPRESSEUR A CYLINDREE FIXE
	POMPE A VIDE A CYLINDREE FIXE
	COMPRESSEUR A CYLINDREE VARIABLE
	RESERVOIR
	ACCUMULATEUR
 <p>à l'air libre sous pression</p>	RESERVOIR
 <p>Au-dessus du niveau du liquide Au-dessous du niveau du liquide</p>	RESERVOIR A CONDUITE DE RACCORDEMENT
	ACCUMULATEUR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

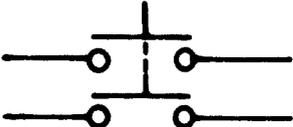
SYMBOLE	DEFINITION
 <p>Simplifié</p>	<p>POMPE A DEUX SENS DE FLUX, A CYLINDREE VARIABLE, A COMPENSATION DE PRESSION</p>
 <p>Simplifié</p>	<p>POUMPE-MOTEUR A UN SEUL SENS DE FLUX, A CYLINDREE FIXE, NON COMPENSEE</p>
 <p>Complet</p>	<p>POMPE-MOTEUR A DEUX SENS DE FLUX, A CYLINDREE VARIABLE, A COMPENSATION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

EQUIPEMENT SUPPLEMENTAIRE

	<p>MANOMETRE</p>
	<p>THERMOMETRE</p>
	<p>DEBITMETRE</p>
	<p>COMPTEUR TOTALISATEUR</p>
	<p>CONTACT A PRESSION</p>

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>

SYMBÔLE	DEFINITION
	<p>INTERRUPTEUR DEBITMETRIQUE (DE REPOS)</p>
	<p>INTERRUPTEUR A BOUTON-PRESSOIR, A LEVIER, BIPOLAIRE (DE TRAVAIL)</p>
	<p>BOBINE DE RELAIS</p>
	<p>CONTACTS DE RELAIS (DE TRAVAIL)</p>
	<p>CONTACTS DE RELAIS (DE REPOS)</p>
	<p>RELAIS TEMPORISE</p>
	<p>CONTACTS A RELAIS TEMPORISE (DE TRAVAIL)</p>
	<p>CONTACTS A RELAIS TEMPORISE (DE REPOS)</p>

Annexe II

PRIX APPROXIMATIFS DE CERTAINS ELEMENTS PNEUMATIQUES

Les prix indiqués dans la liste ci-après sont les prix moyens et arrondis appliqués en 1973 par un certain nombre de fournisseurs des Pays-Bas, de la République fédérale d'Allemagne et du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord. 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 différents d'un même élément.

Distributeurs de commande

	Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en milli- mètres)	Prix (en dollars des E.U.)
Distributeurs à 5 orifices et 2 positions			
A bouton-presseur avec ressort de rappel	1/8	3,2	10,50
	1/4	6,3	15,20
A levier, avec ressort de rappel	1/8	3,2	11,00
	1/4	6,3	17,00
A pédale, avec ressort de rappel	1/8	3,2	11,20
	1/4	6,3	17,10
	1/2	12,7	34,80
A encliquetage (poussée- traction)	1/8	3,2	10,50
	1/4	6,3	15,20
	1/2	12,7	28,00

Distributeurs de commande

	Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en milli- mètres)	Prix (en dollars des E.U.)
Distributeurs à 5 orifices et 2 positions			
A activateur pneumatique, avec ressort de rappel	1/8	3,2	9,20
	1/4	6,3	15,10
	1/2	12,7	30,20
	3/4	19,0	48,00
A double activateur pneuma- tique	1/8	3,2	9,00
	1/4	6,3	15,00
	1/2	12,7	30,00
	3/4	19,0	47,60
A électro-aimant avec ressort de rappel	1/8	3,2	15,20
	1/4	6,3	25,45
	1/2	12,7	39,40
	3/4	19,0	47,95
A double électro-aimant	1/8	3,2	30,20
	1/4	6,3	35,45
	1/2	12,7	52,50
Distributeurs à 5 orifices et 3 positions			
	1/8	3,2	10,50
	1/4	6,3	17,75
	1/2	12,7	35,45
Distributeurs à 3 orifices et 2 positions			
A bouton-presseur, avec res- sort de rappel	1/8	3,2	7,25
	1/4	6,3	11,90
	1/2	12,7	21,70
A levier (cane), avec ressort de rappel	1/8	3,2	8,55
A encliquetage (poussée- traction)	1/8	3,2	8,55
	1/4	6,3	12,50
	1/2	12,7	23,00
A activateur pneumatique, avec ressort de rappel	1/8	3,2	7,30
	1/4	6,3	13,20
	1/2	12,7	22,35
A double activateur pneuma- tique	1/8	3,2	
	1/4	6,3	
	1/2	12,7	

	Dimension d'orifice (en pouces)	Equivalent approximatif (en milli- mètres)	Prix (en dollars des E.U.)
A Electro-aimant, avec res- sort de rappel	1/8	3,2	18,40
	1/4	6,3	24,30
	1/2	12,7	34,15
A double Electro-aimant	1/8	3,2	23,00
	1/4	6,3	34,80
	1/2	12,7	44,90

Régulateurs de débit d'air

Régulateur de débit à une seule direction	1/8	3,2	2,50
	1/4	6,3	3,55
	1/2	12,7	7,25
	3/4	19,0	16,55
Soupape de retenue	1/8	3,2	1,45
	1/4	6,3	2,00
	1/2	12,7	2,80
	3/4	19,0	5,95
Sélecteur de circuit	1/8	3,2	2,10
	1/4	6,3	2,50

Filtre-régulateur de pression-
lubrificateur (unités triples)

1/2	12,7	50,00
3/4	19,0	70,00

Cylindres pneumatiques

	Dimension		Prix		
	(en pouces) (équivalent)	(en pouces) (équivalent)	(en dollars des E.U.)	(en dollars des E.U.)	
A simple effet	3/4	19,0	1	25,4	3,30
	3/4	19,0	2	50,8	3,70
	1-1/4	31,7	1-1/4	31,7	5,00
	1-1/4	31,7	2-1/4	57,1	5,25
	1-3/4	44,4	2	50,8	8,30
	2-1/2	63,5	2	50,8	11,05
A double effet(sans amorf- tisseur)	1-1/4	31,7	1-1/2	38,1	5,00
	1-1/4	31,7	3	76,2	5,25
	1-1/4	31,7	4-1/2	114,3	5,65
	1-1/4	31,7	6	152,4	5,95
	2-1/2	63,5	3	76,2	9,95
	2-1/2	63,5	6	152,4	10,90
	2-1/2	63,5	9	228,6	11,85
	2-1/2	63,5	12	304,8	12,75
A double effet(avec amorf- tisseur)	1-1/4	31,7	1-1/2	38,1	5,55
	1-1/4	31,7	3	76,2	5,80
	1-1/4	31,7	4-1/2	114,3	6,20
	1-1/4	31,7	6	152,4	6,45
	2-1/2	63,5	3	76,2	12,50
	2-1/2	63,5	6	152,4	13,80
	2-1/2	63,5	9	228,6	14,85
	2-1/2	63,5	12	304,8	15,75
A double effet et à haut rendement	4	101,6	4	101,6	72,00
	5	127,0	4	101,6	85,45
	6	152,4	4	101,6	114,60
	8	203,2	4	101,6	174,20
	10	254,0	4	101,6	367,50
	12	304,8	4	101,6	443,65

Evaluation d'énergie
(en tonnes par pouce
à 80 psig)

Prix
(en dollars
des E.U.)

Force de percussion

1/10	33,45
1/4	55,15
1/2	76,15
1	157,50
2	249,40

Divers

Equipement	Prix (en dollars des E.U.)
Table d'indexage rotative, diamètre de 10 pouces, à 4, 6, 8, 12 ou 23 positions	470,00

BIBLIOGRAPHIE

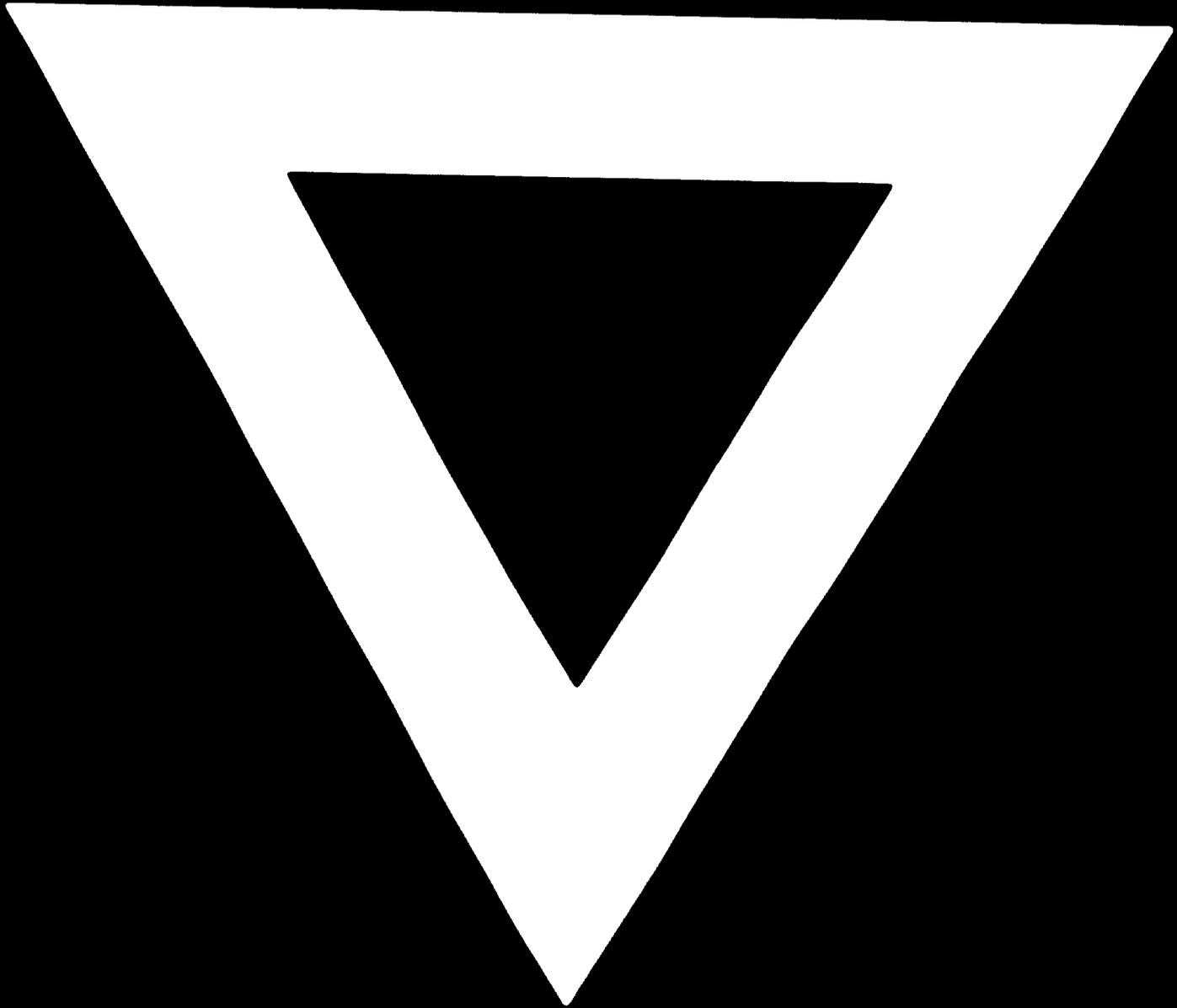
- Atlas Copco Tools. Automatic Systems Group. Automation technique. Stockholm, 1971.
- _____. Compressed air engineering. Stockholm, 1971. 361 p.
- Caldwell, Samuel H. Switching circuits and logical design. Londres, Wiley, 1958.
- Chronis, Nicolas P. Machine devices and instrumentation; mechanical electrochemical, 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.
- Jroot, Rijn de. Automation in developing industry. Quezon City, Philippines, Institute for Small-scale Industries, Universit  des Philippines, 1969. 69 p.
- Hodges, 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 Controle Inc. Industrial static switching handbook. Milwaukee (Wisconsin), 66 p.
- Packard, Charles A. Relay engineering. Philadelphia, Struthers-Dunn, 1945.
- Santiano, W.J. Low-cost automation electricity. Quezon City (Philippines), Institute for Small-scale Industries, Université des Philippines, 1969.

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, du 17 au 21 novembre 1969
Publication des Nations Unies, N° de vente: F.70.II.B.32
- ID/61 Production de maisons préfabriquées en bois
Keijo N.E. Tiusanen
Publication des Nations Unies, N° 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, N° 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, N° de vente:
F.72.II.B.4
- ID/108 Industries du meuble et de la menuiserie pour les
pays en voie de développement
Première partie: Matières premières
Deuxième partie: Techniques de production
Troisième partie: Considérations relatives à 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
- UNIDO/LIE/SER.D/4 Guides des sources d'information N° 4:
Sources d'information sur l'industrie du meuble
et de la menuiserie
- UNIDO/LIE/SER.D/9 Guides des sources d'information N° 9:
Sources d'information sur la fabrication de
panneaux de construction dérivés du bois ou
d'autres matières fibreuses.



A - 344



77 . 10 . 06