

AUTOMATISMES LOGIQUES

Modélisation & Commande

HAMDI HOCINE



VOLUME 1

structure et principes de fonctionnement

nouvelle édition

extrait (version distribution étudiant)

- Les éditions de l'université Constantine 1 -

- Avant Propos -

Cet ouvrage est destiné aux élèves des grandes écoles et universités, ainsi qu'à ceux des centres de formation professionnelle et des lycées techniques. Il peut être également utilisé avec profit par les techniciens et ingénieurs non spécialistes, souhaitant entreprendre une action de formation continue.

Il a pour but de leur donner les bases des « automatismes logiques », leur permettant d'analyser de manière fonctionnelle n'importe quelle installation automatisée, en vue de la compréhension de son fonctionnement, puis de son exploitation et de sa maintenance éventuelle.

Il leur donne également les outils pour aborder l'étude et la définition du cahier de charges de l'automatisation d'un procédé, sa réalisation (dans le cas de procédés simples) ou le suivi de sa réalisation (dans le cas de procédés complexes).

Si les sciences associées aux technologies occupent une place importante dans « l'enseignement technique », il est par contre difficile de les aborder. En effet n'étant ni un enseignement général ni un enseignement professionnel, il faut d'une part faire appel à la théorie (uniquement quand il le faut) en l'illustrant avec des exemples, donner d'autre part des bases scientifiques et technologiques sans entrer dans les travers du « livre de recettes ».

Ce que nous proposons n'est pas un cours classique d'automatique. Il a été conçu totalement à l'opposé, sur la base de la décomposition fonctionnelle des systèmes, avec un recours minimum à la théorie. Il exploite surtout le volet pratique en décrivant les outils nécessaires et la manière de les utiliser. Certains paragraphes qui ont un aspect purement descriptif sont certes assez rébarbatifs. C'est pour cela qu'au lieu de détailler technologiquement la constitution des composants, nous avons préféré nous limiter à un aspect purement fonctionnel, abusant parfois du système des « boîtes noires », tellement plus attractif à cause des dessins. Nous espérons ainsi toucher un large public, et que ce document serve de référence à consulter en cas de besoin.

Un autre objectif de notre démarche est de rassembler dans un document unique, tous les éléments qui touchent à un système automatisé : de sa décomposition en partie opérative et partie commande, sa modélisation par l'outil grafcet, la description des capteurs et actionneurs utilisés, en passant par les différents modes de marche et les procédés de commande, pour finir par les différentes techniques de programmation des automates programmables industriels.

Si nous avons fait la part belle à la technologie électropneumatique, au détriment de la technologie électronique, ceci est un choix délibéré. Car si dans ce dernier cas la documentation existe à profusion, ce n'est malheureusement pas le cas de la technologie électropneumatique, qui a jusqu'ici été complètement **occultée** dans l'enseignement universitaire et pour laquelle les références sont rares, et ce en dépit de son importance dans le monde professionnel.

Cet ouvrage est-il la traduction fidèle de nos intentions pédagogiques ? Nous le souhaitons vivement, et remercions par avance toutes les personnes qui auront l'amabilité de nous faire part de leurs critiques ou de leurs conseils, afin d'en améliorer le contenu dans les prochaines éditions.

Hamdi Hocine

Chargé du cours d'automatismes logiques, à l'Institut d'Electronique de l'Université de Constantine.

CHAPITRE 1 : STRUCTURE D'UN AUTOMATISME ET NOTION DE CAHIER DE CHARGES

[Retour table des matieres](#)

-I- NOTIONS SUR L'AUTOMATISATION ET LES AUTOMATISMES	PAGE
-1-Objectifs de l'automatisation -----	2
-2-Fonctions des automatismes -----	3
-3-Technologies des automatismes -----	4
-II-STRUCTURE D'UN AUTOMATISME LOGIQUE	
-1-Parties opérative et commande d'un système automatisé -----	5
-2-Synthèse d'un automate séquentiel -----	6
-3-Fonctions de l'automate central -----	8
-4-Les périphériques -----	9
-5-Les interfaces -----	
-6-Structure d'un automate dans les technologies concurrentes -----	10
-III-MODES DE MARCHE D'UN SYSTEME AUTOMATISE	
-1-Rappels sur le fonctionnement séquentiel -----	11
-2-Marches normales ou automatiques -----	
-3-Marches d'essais et de maintenance -----	12
-4-Marches manuelles -----	
-IV-APPROCHE DU CAHIER DE CHARGES DE LA PARTIE COMMANDE	
-1-Spécifications fonctionnelles : niveau 1 -----	14
-2-Spécifications technologiques et opérationnelles : niveau 2 -----	
-3-Nécessité d'un outil de représentation -----	15
-V-EXEMPLE D'APPLICATION : LA MACHINE A LAVER	
-1-Description du fonctionnement de la partie opérative-----	16
-2-Spécifications fonctionnelles -----	
-3-Spécifications technologiques et opérationnelles -----	17
-4-Organe de commande -----	19
-5-Schéma de la machine à laver -----	20

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

-1-Télémechanique, « Automatismes Industriels », méthodes-automatismes, notice technique NT-60 010-F-8N, édit La télémechanique, France, 1980

-2-G.Michel C.Lurgeau B.Espiau, « Les automates Programmables Industriels », chapitre 1, édit 1980, France

-I- NOTIONS SUR L'AUTOMATISATION ET LES AUTOMATISMES

L'automatisation d'un procédé (c'est à dire une machine, un ensemble de machines ou plus généralement un équipement industriel) consiste à en assurer la conduite par un dispositif technologique.

-1-Objectifs de l'automatisation

La compétition économique entraîne les industriels à vivre en permanence dans un esprit de concurrence, qui oblige à toujours améliorer les performances en termes de quantité et surtout de qualité (d'où le maître mot de l'économie : rapport qualité/prix). L'automatisation des processus industriels a pour finalité de réaliser ces vœux. Ses objectifs principaux au nombre de quatre sont complémentaires et liés. Ils peuvent s'énoncer ainsi :

-a- produire à qualité constante : contrairement à l'être humain, il est clair que la machine n'est pas sujette à la fatigue de fin de journée, par conséquent la qualité des produits sortant des chaînes est généralement la même ;

-b- fournir les quantités nécessaires : cette notion fait référence à l'adaptativité, c'est à dire pouvoir adapter l'offre à la demande. L'objectif est de produire juste les quantités nécessaires à un instant donné, de façon à tendre vers la notion de stock zéro. Pour pouvoir adapter l'offre à la demande, cela se fait rapidement et efficacement dans un environnement automatisé (arrêter par exemple une chaîne de fabrication en période de faible demande, ou au contraire en mettre en route d'autres pour répondre à la forte demande) ;

-c- augmenter la productivité : il s'agit donc d'augmenter le rendement. Pour ce faire l'automatisation a consisté à remplacer une grande partie des opérateurs humains par des machines, qui ont des cadences de travail élevées, ne connaissant ni les pauses café ni les congés payés ;

-d- améliorer les conditions de travail : il s'agit d'une part de remplacer l'homme par la machine pour les tâches pénibles ou qu'il ne peut pas faire (pour l'affecter ailleurs où il est censé faire un travail plus noble), d'autre part d'augmenter les possibilités de réaliser les objectifs "a", "b" et "c". En effet un employé qui mange bien, est bien soigné, et a de bonnes conditions de vie et de travail, n'est pas souvent malade, n'est pas fatigué, a peu d'absentéisme, et devient donc plus rentable économiquement.

-2-Fonctions des automatismes

Le degré d'automatisation d'un système varie selon la nature, la complexité, les objectifs assignés au projet. La surveillance d'une tour d'immeuble est différente de celle des ascenseurs qu'elle comporte ou de son dispositif de climatisation.

Il existe trois degrés d'automatisation ou modes de fonctionnement des automatismes :

-2-a-Mode surveillance

Dans ce mode l'automatisme a une fonction passive vis à vis du procédé qu'il pilote. L'organe de contrôle acquiert les informations et les analyse pour fournir journaux de bord et bilans. L'objectif est la connaissance technique et économique du procédé.

-2-b-Mode guide opérateur

Les traitements sont plus élaborés que dans le cas précédent, et l'automatisme propose des actions pour conduire le procédé selon un critère donné. L'automatisme ne réagit pas directement sur le procédé, il a donc un fonctionnement en boucle ouverte.

-2-c-Mode commande

L'automatisme a une structure en boucle fermée. On a une automatisation complète de certaines fonctions : acquisition des informations, leur traitement, et enfin l'action sur le procédé.

MODE FONCTIONNEMENT	ACQUI SITION	TRAITEMENT	ACTION	STRUCTURE
Surveillance	X			Boucle ouverte
Guide-Opérateur	X	X		Boucle ouverte
Commande	X	X	X	Boucle fermée

Figure 1.1 : différentes fonctions d'un automatisme

Les fonctions assurées dans chaque mode sont simples ou complexes selon le procédé ou la partie de procédé auxquelles elles sont assignées.

Prenons à titre d'exemple la surveillance d'une installation de chauffage central d'un édifice quelconque. Si le niveau d'eau diminue, la pression augmente. Au-delà d'une certaine pression la chaudière risque d'exploser. Pour faire baisser la pression il faut tout simplement rajouter de l'eau.

Dans le cas du mode surveillance, seul un indicateur visuel à aiguille nous permet de savoir que la pression a augmenté.

Dans le mode guide opérateur, on donne l'information sur l'action qu'il faut entreprendre, afin de baisser la pression. Un indicateur visuel ou sonore indique qu'il faut ouvrir la vanne d'eau.

Dans le mode commande, l'automatisme commande l'ouverture de la vanne, surveille le niveau d'eau, puis ferme la vanne quand le niveau désiré est atteint.

-3-Technologies des automatismes

L'automaticien dispose de nombreux outils technologiques pour réaliser l'organe de commande de son système, que l'on regroupe habituellement en deux catégories fondamentales : les solutions câblées et les solutions programmées (cf figure 1.2).

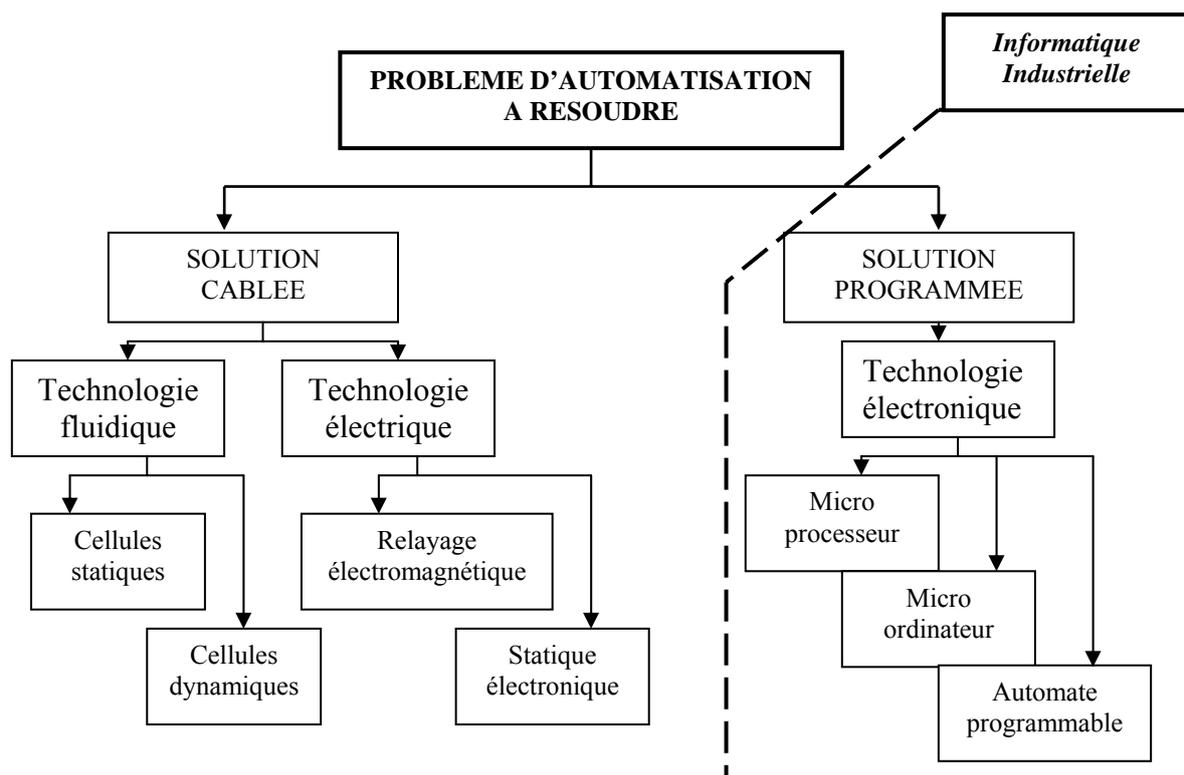


Figure 1.2 : principales solutions d'un problème d'automatisation

Remarques :

-1-L'informatique industrielle est une discipline conjuguant les théories de l'automatique et les moyens de l'informatique pour résoudre des problèmes de nature industrielle.

-2-Un automate programmable industriel ou API (cf chapitre 4) est une machine électronique, programmable par un personnel non informaticien, destinée à piloter en ambiance industrielle et en temps réel, des procédés logiques séquentiels.

-II-STRUCTURE D'UN AUTOMATISME LOGIQUE

-1-Parties opérative et commande d'un système automatisé

D'une façon tout à fait générale, un système automatisé peut se décomposer en deux parties qui coopèrent : une *partie opérative* ou puissance, et une *partie commande* ou automate ou automatisme (cf figure 1.3).

La partie opérative effectue des opérations (transformation de pièces brutes en pièces usinées dans le cas d'une machine outil à commande numérique, translation de la cabine d'un ascenseur de l'étage de départ à l'étage d'arrivée), lorsque l'ordre lui en est donné par la partie commande. En revanche elle fournit à la partie commande des informations sur les opérations effectuées.

La partie commande reçoit des consignes de l'extérieur (paramètres des opérations à effectuer) et fournit des comptes-rendus visuels ou sonores.

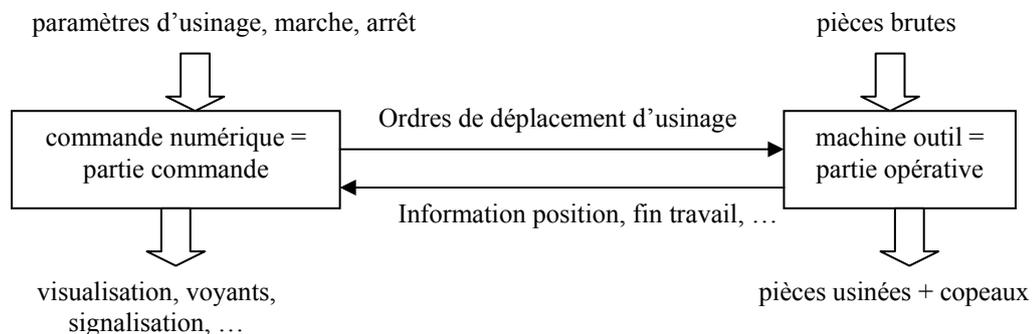


Figure 1.3-a : machine outil à commande numérique

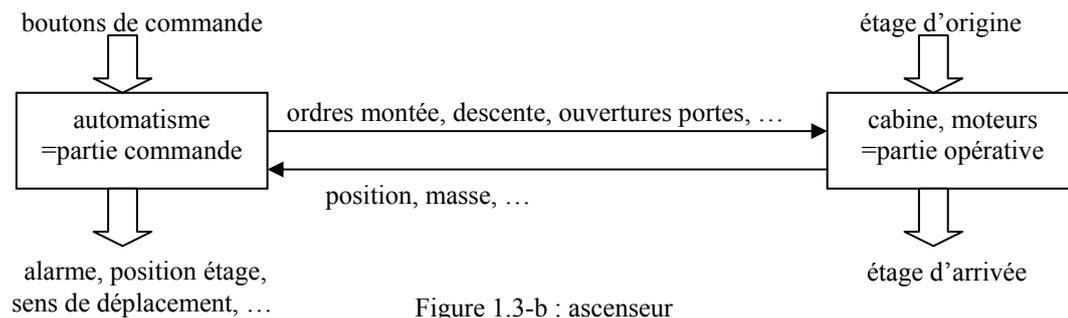


Figure 1.3-b : ascenseur

Figure 1.3 : exemples de systèmes automatisés

En conclusion la partie opérative est le processus physique à automatiser. La partie commande est un automatisme qui élabore en sortie des ordres destinés au processus, et des signaux de visualisation en fonction des comptes-rendus venant du processus et des consignes qu'il reçoit en entrée.

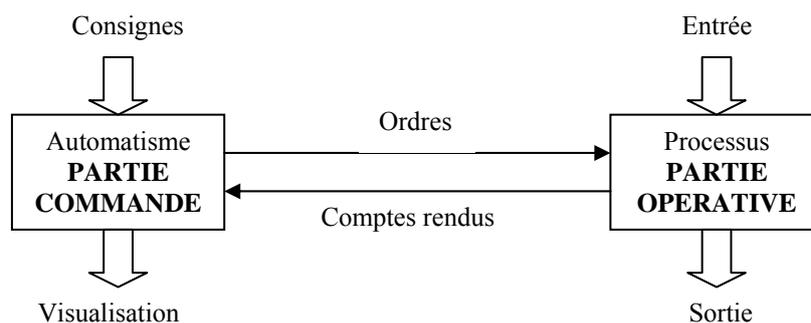


Figure 1.4 : schéma de principe d'un système automatisé

-2-Synthèse d'un automatisme séquentiel

-2-a-Rappel sur les logiques combinatoire et séquentielle

En logique combinatoire la sortie d'un système ne dépend que de la combinaison des informations d'entrée, et ceci quel que soit l'ordre d'arrivée de ces informations.

En logique séquentielle le système évolue en fonction des entrées et des états antérieurs du système.

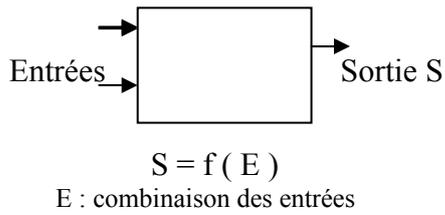


Figure 1.5-a :système combinatoire

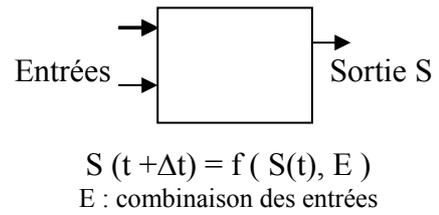


Figure 1.5-b :système séquentiel

Figure 1.5 : systèmes combinatoire et séquentiel purs

-2-b-Synthèse

La synthèse d'un automate séquentiel consiste à établir une relation entre les informations délivrées par les capteurs (entrées) d'une part, et les ordres donnés aux actionneurs (sorties) d'autre part, à travers un automate séquentiel autour duquel gravitent des fonctions spécifiques. La décomposition et le principe de fonctionnement sont généralement ceux donnés par la figure 1.6 .

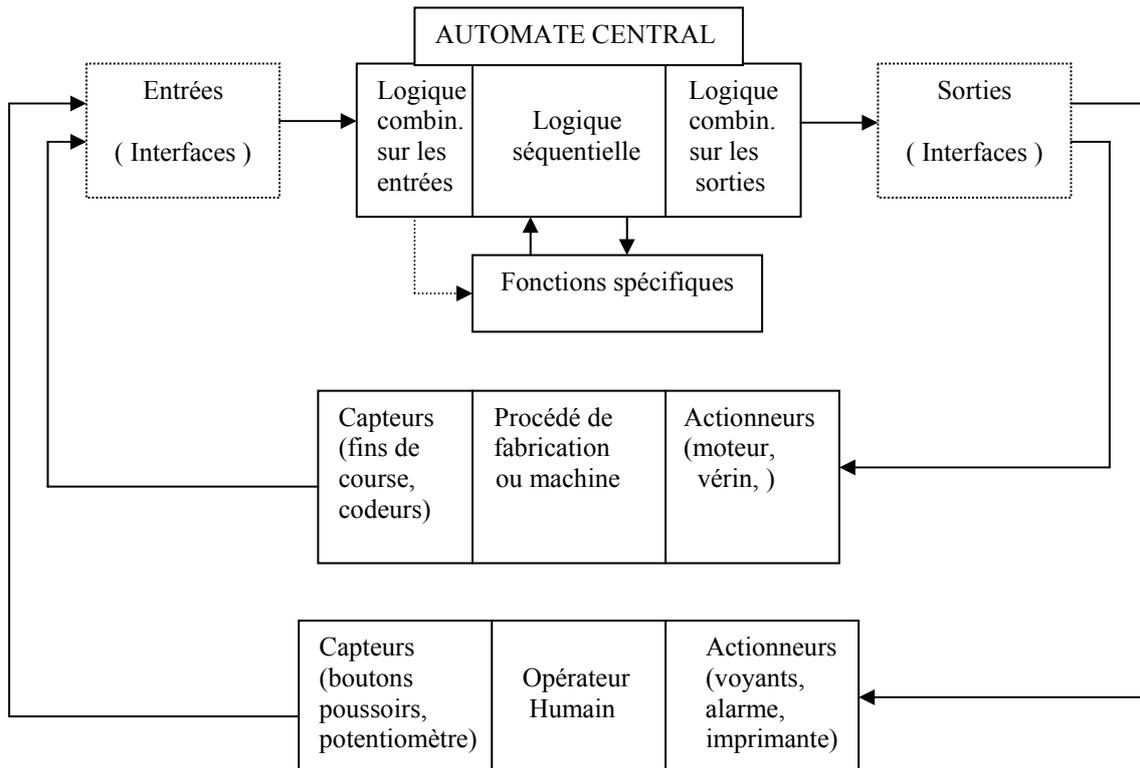


Figure 1.6 : structure d'un automate séquentiel

-3-L'automate central

-3-a-Structure

On désigne par automate ou automate central la partie centrale ou cerveau de l'automatisme, dont il constitue la structure séquentielle.

Il comprend une logique combinatoire, une logique séquentielle, et un certain nombre de périphériques qui assurent des fonctions spécifiques (comptage, temporisation). Ces périphériques dits « internes » peuvent être intégrés ou non à l'automate.

La logique combinatoire sur les entrées concerne les conditions de transition du système d'un état vers un autre. Elle se présente sous forme d'équations booléennes qui permettent de faire évoluer l'automatisme de manière séquentielle.

La logique combinatoire sur les sorties permet de faire la relation entre l'état de l'automate central et des sorties. Là aussi elle se présente sous forme d'équations booléennes en logique combinatoire.

Les périphériques internes sont des fonctions auxquelles l'automate central a recours pour élaborer des informations supplémentaires nécessaires à l'enchaînement des étapes (temporisations, comparateurs, calcul, etc...).

-3-b-Fonctions

Son fonctionnement est cyclique. Pour une phase élémentaire de fonctionnement séquentiel, ses fonctions principales peuvent se résumer de la manière suivante :

- *dialogue* avec l'opérateur dont il reçoit les ordres (début de cycle, arrêt, changement du mode de marche,...) et à qui il envoie des informations (alarme, visualisation d'état, bilan des entrées sorties, etc...),
- *acquisition* des informations fournies par les capteurs, et leur mise en forme par les interfaces d'entrée si nécessaire,
- *traitement* de ces informations,
- *élaboration des ordres puis commande* des actionneurs par l'intermédiaire des interfaces de sortie.

-4-Les périphériques

Ce sont des sous-ensembles de l'automatisme distincts de l'automate central, qui transmettent les informations et les ordres.

-4-a-Capteurs

-*Liés à la machine* : ils transmettent les informations à l'automate. Parmi les exemples simples on peut citer les fins de course, les codeurs, les capteurs à seuil de grandeurs analogiques.

-*Liés à l'opérateur* : ils transmettent les ordres de l'opérateur à l'automate. On peut citer les interrupteurs, les boutons poussoirs, les potentiomètres.

-4-b-Actionneurs

-*Liés à la machine* : ils transmettent des ordres à la partie mécanique de la machine. On peut citer les plus courants qui sont le moteur et le vérin.

-*Liés à l'opérateur* : ils transmettent des informations à l'opérateur. On peut citer les voyants, les alarmes sonores ou visuelles, l'écran, l'imprimante.

-4-c-Périphériques internes

Ils reçoivent des informations des capteurs et des ordres de la logique séquentielle et combinatoire. Ils transmettent des informations à cette même logique. Les exemples les plus courants sont le temporisateur, le compteur et le comparateur.

-5-Les interfaces

-5-a-Interfaces d'entrée

En plus de la protection de l'automate (rôle secondaire), ils assurent surtout un rôle d'adaptation (niveau de tension et courant) et de mise en forme (conversion analogique numérique) de l'information d'entrée.

-5-b-Interfaces de sortie

Comme les interfaces d'entrée ils assurent également une fonction de protection et d'isolation de la partie commande par rapport à la partie opérative. Mais ils servent principalement d'interface d'amplification.

Il est à remarquer que lorsque l'actionneur nécessite une interface de puissance, cette dernière est distincte de l'interface de sortie de l'automate. On l'appelle préactionneur (contacteur par exemple pour la commande de moteurs).

-6-Structure d'un automatisme dans les technologies concurrentes

Le tableau ci-dessous résume de manière succincte, en fonction des technologies employées, les différentes combinaisons des éléments intervenant dans la structure d'un système automatisé. Les détails sur le fonctionnement et les aspects technologiques seront traités au chapitre 3.

TYPE D'AUTO-MATISME	ELECTRIQUE	ELECTROPNEUMATIQUE OU ELECTROHYDRAULIQUE	TOUT PNEUMATIQUE
LOGIQUE DE COMMANDE	-Concevoir soi même le boîtier électronique de commande -Relais ou séquenceur électrique -API ou micro ordinateur -Programmateur à cames à E/S électriques	Idem à électrique	-Cellules, -Relais, -Séquenceurs (pneumatiques) -Programmateur à cames à E/S pneumatiques
CAPTEURS	Electriques	Electriques	Pneumatiques
PREACTION-NEURS	-Contacteur -Electroaimant, tyristor, transistor de puissance	Electrodistributeurs	Distributeurs à commande pneumatique
ACTION-NEURS	Moteur électrique	-Moteur hydraulique -Vérin pneumatique ou hydraulique	-Vérin pneumatique

-III-MODES DE MARCHE D'UN SYSTEME AUTOMATISE

-1-Rappels sur le fonctionnement séquentiel

Dans ce qui suit on s'intéresse aux automatismes logiques, pour lesquels les informations traitées ont un caractère « tout ou rien ».

De plus bien qu'on puisse réaliser des automatismes combinatoires purs, ils sont très souvent séquentiels et combinatoires à la fois, la partie séquentielle étant la partie la plus importante. En effet dans un processus de fabrication, les machines comportent au minimum un cycle, et presque toujours plusieurs cycles se déroulant simultanément ou successivement .

La décomposition du fonctionnement d'un système automatisé en étapes ou en phases repose sur la notion de chronologie, elle intègre donc de fait la notion de temps (aspect séquentiel).

-Etape : elle correspond à un **état stable** de la machine ou de tout le système. Dans une étape active, un ensemble d'**actions** élémentaires s'exécutent (montée chariot, rotation de broche etc...).

La transition entre étapes (c'est à dire le passage d'un état stable vers un autre état stable) ne s'effectue que si les conditions de transition liées à ce passage sont réalisées.

-Séquence : c'est un ensemble ordonné d'étapes. Par exemple on parlera de séquence de perçage d'une pièce, d'impression d'un ticket.

Dans une séquence seule une étape est active à la fois.

-Cycle : c'est un ensemble de séquences ordonnées.

On parlera par exemple du cycle de fonctionnement d'une machine à laver, qui comprend une séquence de préparation, une séquence de prélavage, une séquence de lavage, une séquence de rinçage, une séquence d'essorage et de vidange, et enfin une séquence de séchage éventuelle. Chaque séquence est constituée d'un ensemble d'étapes ordonnées. Par exemple la séquence de préparation comprend les étapes successives suivantes qui doivent se dérouler dans l'ordre : remplissage des bacs de détergent et assouplissant, remplissage de la cuve d'eau, chauffage de l'eau.

-2-Marches normales ou automatiques

-2-a-Cycle bouclé ou répété

L'opérateur donne uniquement l'ordre de départ cycle et l'ordre d'arrêt (l'arrêt s'effectue en fin de cycle).

-2-b-Cycle unique ou non bouclé

Le cycle s'exécute une seule fois (sans répétition) avec arrêt en fin de cycle. Il ne peut se répéter sans intervention extérieure.

-3-c-Cycle semi-automatique ou séquence par séquence

Une fois le départ cycle donné par l'opérateur, le passage d'une séquence à l'autre nécessite une nouvelle intervention de l'opérateur.

-3-Marches d'essai et de maintenance

Dans ce mode la partie commande du système automatisé reste active, notamment sa logique séquentielle qui permet de faire évoluer le système. Par conséquent la notion de grafset reste présente.

-3-a-Cycle étape par étape avec exécution des actions

Le déroulement du cycle s'arrête à chaque étape. Au niveau d'une étape les actions prévues s'exécutent. Le passage d'une étape à l'autre nécessite en plus des conditions d'évolution, la pression sur le bouton « étape suivante ».

-3-b-Cycle étape par étape sans exécution des actions

Le fonctionnement est identique au précédent mais les actionneurs ne sont pas commandés. Le verrouillage s'effectue au niveau de la logique combinatoire sur les sorties.

-3-c-Cycle de réglage

Ce mode de fonctionnement cumule les modes cycle unique, étape par étape et marche manuelle asservie. L'opérateur présélectionne un arrêt sur une étape déterminée. Dans cette étape les actionneurs peuvent être commandés manuellement par l'opérateur au niveau de la logique combinatoire sur les sorties.

Sur action de l'opérateur et si les conditions d'évolution sont vérifiées, le cycle reprend en mode automatique jusqu'à la fin du cycle ou s'arrête à la prochaine étape présélectionnée pour le réglage.

-4-Marches manuelles

Dans ces modes la partie commande du système automatisé est désactivée. Comme la logique séquentielle de la PC n'est plus active, par conséquent la notion de grafcet, qui modélise le séquençage du système automatisé, n'est plus présente.

-4-a-Asservie

Tous les actionneurs peuvent être commandés par l'opérateur dans un ordre quelconque, « manuellement » au niveau de la logique combinatoire sur les sorties. Tous les asservissements subsistent comme en automatique.

-4-b-Non asservie

Mis à part les asservissements indispensables à la sécurité, tous les autres sont déconnectés.

Le fonctionnement est identique au précédent mais en dehors de la logique combinatoire sur les sorties.

-4-c-En automatique

Ce mode permet en même temps les deux modes précédents avec un principe de fonctionnement automatique étape par étape. Au niveau de chaque étape les actionneurs peuvent être commandés soit directement (manuellement) soit par le biais de l'automatisme (logique combinatoire sur les sorties).

-4-d-Intervention

Ce cas se présente lorsque le cycle reste bloqué sur l'étape en cours, sans possibilité d'évolution. On peut utiliser le mode asservi ou non asservi pour commander les actionneurs et débloquent le système. Une fois la cause de blocage du système identifiée et éliminée, on repasse en marche d'essai pour s'assurer que le système fonctionne de manière fiable.

-IV-APPROCHE DU CAHIER DE CHARGES DE LA PARTIE COMMANDE

Le cahier de charges est une description claire du rôle et des performances de l'équipement à réaliser. Cette description se fait à deux niveaux successifs et complémentaires : la description fonctionnelle ou niveau 1 qui permet au concepteur de comprendre ce que l'automatisme doit faire ; la description technologique et opérative ou niveau 2 donne des précisions sur les conditions de fonctionnement des matériels.

-1-Spécifications fonctionnelles : niveau 1

Elles donnent le *rôle de la partie commande* à construire, donc définissent de façon claire et précise les différentes fonctions, informations et commandes impliquées dans l'automatisation de la partie opérative, *sans préjuger* en aucune façon *des technologies* qui seront *utilisées*.

Ni la nature, ni les caractéristiques techniques des différents capteurs ou actionneurs utilisés ne sont données dans ces spécifications. Par contre les sécurités de fonctionnement sont prévues dans les spécifications fonctionnelles, dans la mesure où elles ne dépendent pas de la technologie de ces capteurs ou actionneurs.

-2-Spécifications technologiques et opérationnelles

-2-a-Spécifications technologiques

Elles donnent la manière dont l'automatisme devra physiquement s'insérer dans l'ensemble que constitue le système automatisé et son environnement.

On donne ici les renseignements sur la nature exacte des capteurs et actionneurs employés, leurs caractéristiques et les contraintes qui peuvent en découler.

A ces spécifications d'interface s'ajoutent éventuellement des spécifications d'environnement de l'automatisme : température, humidité, poussière, alimentations etc...

-2-b-Spécifications opérationnelles

Elles ont trait au suivi de fonctionnement de l'automatisme : fiabilité (MTBF : temps moyen entre deux pannes), disponibilité (périodicité de la maintenance obligatoire), absence de pannes dangereuses, facilité de maintenance, dialogue homme machine, possibilités de modification de l'équipement en fonction des transformations de la partie opérative, etc...

Ces considérations, souvent négligées dans le cahier des charges, sont pourtant primordiales pour l'exploitant du processus à automatiser, parce qu'elles ont des répercussions économiques indéniables, tant sur le coût de l'équipement à réaliser que lors de l'exploitation.

Même si leurs répercussions économiques sont parfois difficiles à quantifier, les spécifications opérationnelles ont quand même une incidence certaine sur la manière de réaliser l'équipement

-3-Nécessité d'un outil de représentation

Pour décrire le fonctionnement d'un système en langage courant, les mots sont peu précis ou possèdent plusieurs sens. Cela est particulièrement vrai pour les mots du jargon technique : ils ont un sens dans un contexte précis, sont soit hermétiques au non initié, soit peuvent conduire à des contresens.

Le langage courant est peu adapté à la description précise des systèmes séquentiels, en particulier lorsqu'ils comportent un choix entre diverses évolutions possibles, et/ou des séquences à déroulement simultané. D'où l'intérêt de disposer d'un outil de représentation graphique d'un cahier de charges, qui soit normalisé, dépourvu d'ambiguïté et facile à comprendre et à utiliser. Deux outils principaux de description sont utilisés: les réseaux de Pétri et le grafcet (cf chapitre 2).

Le premier outil fut développé au début des années soixante par Pétri, et a donné lieu à beaucoup d'améliorations et d'extensions. Ses derniers développements sont surtout utilisés comme langage de spécification au niveau algorithmique et dans les protocoles de communication. Son principal atout réside dans sa formulation mathématique qui ouvre des horizons à des traitements informatiques.

Le grafcet est un outil de conception plus récente (créé par l'AFCEC et devenu norme française en 1982) qui a été normalisé au niveau international en 1988. Il est basé sur les principes mêmes du fonctionnement séquentiel (notions d'étape, de séquence et de cycle), et possède un nombre réduit de règles ce qui facilite son apprentissage. Il s'adapte très bien à la description et la modélisation du fonctionnement des automatismes, tant au niveau 1 qu'au niveau 2.

-V-EXEMPLE D'APPLICATION : LA MACHINE A LAVER

Dans cet exemple nous allons partir du travail normal d'une blanchisseuse, et automatiser certaines de ses fonctions pour arriver à la machine à laver telle que nous la connaissons aujourd'hui. Pour la simplicité et la clarté de l'exposé, nous ne nous intéressons ici qu'au lavage proprement dit et sa préparation. Il ne sera question ni de prélavage, ni de rinçage, ni d'essorage et encore moins de séchage.

-1-Description du fonctionnement de la partie opérative

Le fonctionnement s'effectue selon les phases ou étapes successives suivantes :

- 0°Phase de préparation : dépôt du linge dans la cuve, versement du détergent
- 1°Ouverture du robinet d'eau déversant l'eau directement dans la cuve
- 2°Fermeture du robinet d'eau dès le trop plein visuel
- 3°Chauffage de l'eau dans la cuve au bois ou au gaz
- 4°Arrêt de chauffage dès que la température désirée est estimée atteinte
- 5°Agitation manuelle dans les deux sens du linge et de l'eau (à l'aide d'un bâton)
- 6°Durée de l'agitation (du lavage) atteinte estimée par la blanchisseuse
- 7°Vidange manuelle de la cuve

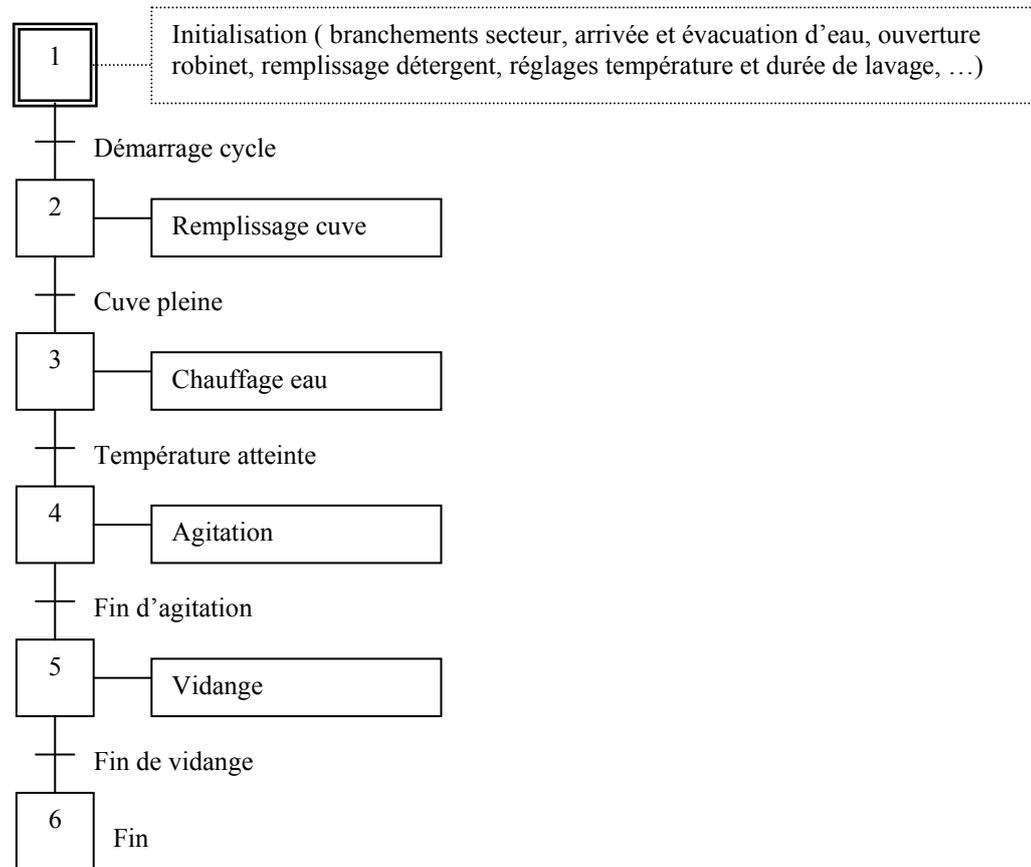
-2-Spécifications fonctionnelles

-2-a-Fonctions à automatiser

Mis à part la phase zéro qui est une étape d'initialisation et qui continuera à être manuelle, toutes les autres phases devront être automatisées. Ce sont les opérations de :

- 1° Ouverture et fermeture du robinet d'eau
- 2° Détection du trop plein
- 3° Chauffage de l'eau et arrêt du chauffage
- 4° Réglage et estimation automatiques de la température désirée
- 5° Agitation automatique dans les deux sens du linge et de l'eau
- 6° Réglage et estimation automatiques de la durée de l'agitation (du lavage)
- 7° Vidange automatique de la cuve

2-b-grafcet de niveau 1



-3-Spécifications technologiques et opérationnelles

-3-a-Contraintes imposées

- 1° Energie : 220 volts alternatif
- 2° Démarrage cycle par bouton poussoir à 2 positions marche/arrêt
- 3° Durées d'agitation : à droite une minute, à gauche deux minutes
- 4° Commande par programmeur à cames

-3-b-Solutions proposées

- 1° Ouverture et fermeture arrivée d'eau par électrovannes
- 2° Détection niveau d'eau par pressostat
- 3° Chauffage d'eau par thermoplongeur (résistance chauffante)
- 4° Détection de température d'eau par thermostat
- 5° Durées de lavage effectuées par temporisations mécaniques, pré-réglées par cames sur le programmeur
- 6° Détection de fin de vidange effectuée par le pressostat
- 7° Vidange par pompe
- 8° Agitation par un seul moteur à deux sens de marche, avec l'utilisation d'un tambour tournant à l'intérieur d'une cuve.

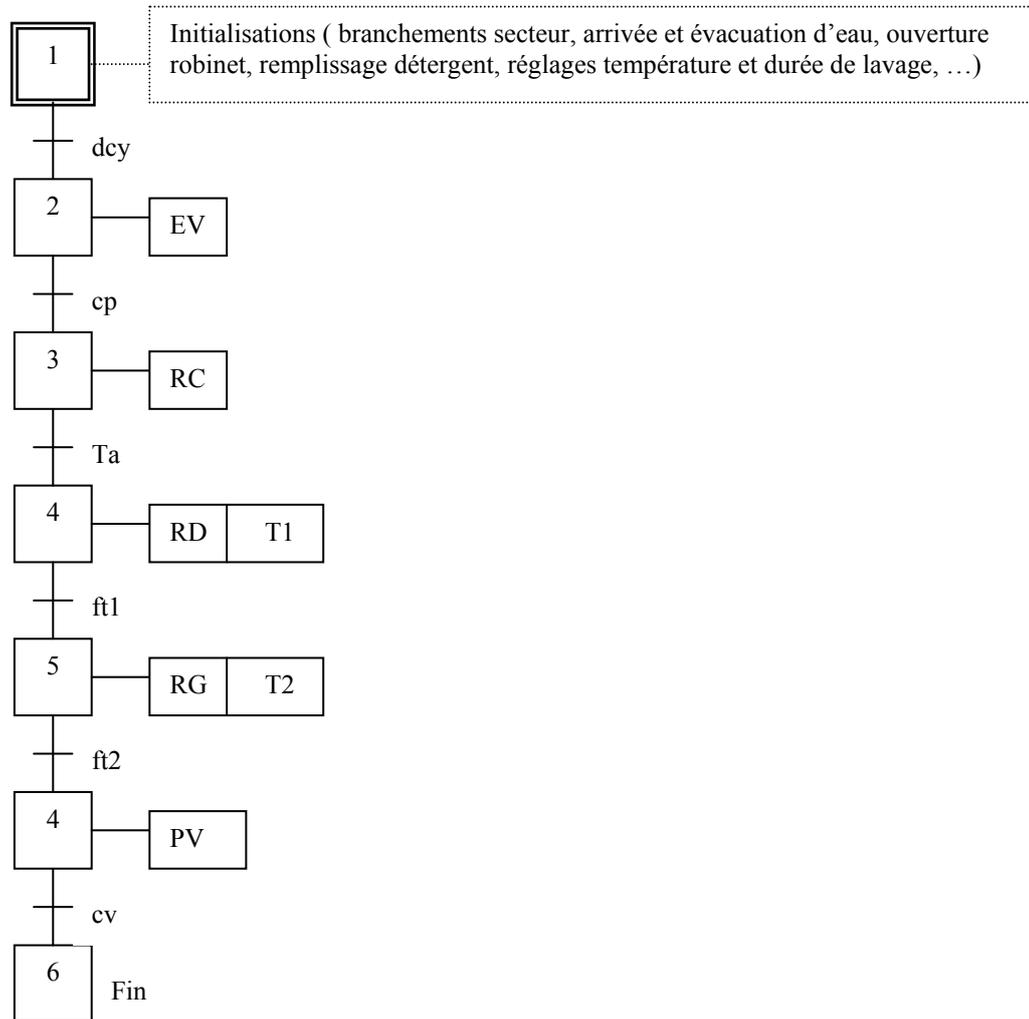
-3-c-Tableau des variables d'entrée/sortie

Tous les capteurs (délivrants des informations en entrée) ainsi que tous les actionneurs seront codifiés par des variables, rassemblées dans un tableau appelé tableau des variables d'entrée/sortie. On utilise généralement des minuscules pour les entrées et des majuscules pour les sorties.

Variables d'entrée et signification	Variables de sortie et signification
dcy : bouton de démarrage cycle	EV : commande ouverture électrovanne
cp : cuve d'eau pleine	MD : rotation droite moteur
cv : cuve d'eau vide	MG : rotation gauche moteur
Ta : température désirée atteinte	PV : commande pompe vidange
	RC : commande résistance chauffante

Variables internes d'entrée	Variables internes de sortie
ft1 : fin de la temporisation 1	T1 : lancement temporisation 1 (1 minute)
ft2 : fin de la temporisation 2	T2 : lancement temporisation 2 (2 minutes)

-3-d-Grafset de niveau 2 de la commande



-4-Organe de commande

Pour le concepteur il reste à choisir (ou concevoir au besoin) l'organe de commande ainsi que les interfaces de puissance nécessaires, et cela en fonction des contraintes engendrées par les choix précédents et/ou les spécifications imposées par le cahier de charges.

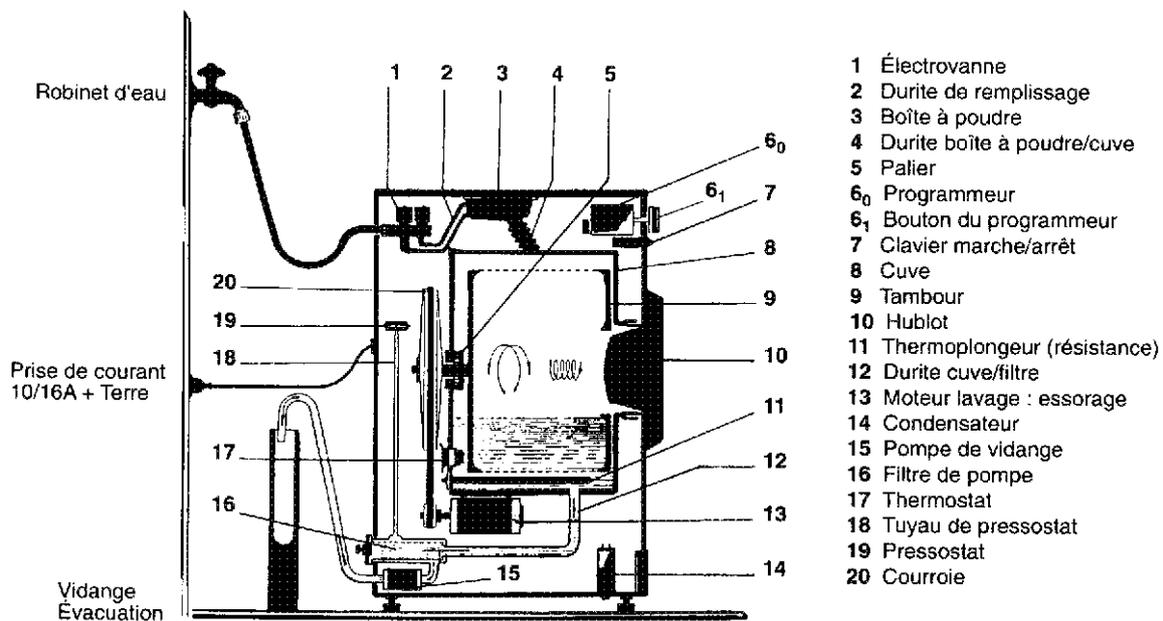
Compte tenu du choix du programmeur à cames comme organe de commande, il faut le dimensionner : temps pour faire un tour complet, déterminer le nombre de cames nécessaire, dimensionner les cames pour prendre en compte les durées de rotation de 1 et 2 minutes. Enfin connaissant la capacité de la cuve et le débit de la pompe, on peut en déduire la durée de vidange et prévoir pour cela une came supplémentaire.

Au niveau puissance, les seuls éléments nécessitant éventuellement une interface de puissance sont les deux moteurs. Pour la pompe de vidange le relais (ou le transformateur nécessaire) est intégré à la pompe. Pour le moteur de rotation on peut utiliser soit un relais soit une interface électronique (thyristor par exemple).

Si on veut utiliser une commande numérique (carte à microprocesseur) avec clavier de programmation, il faudra obligatoirement prévoir des interfaces de puissance, même si la commande des relais ne nécessite pas une grande puissance.

-5-Schéma de base de la machine à laver

[Haut de page](#)



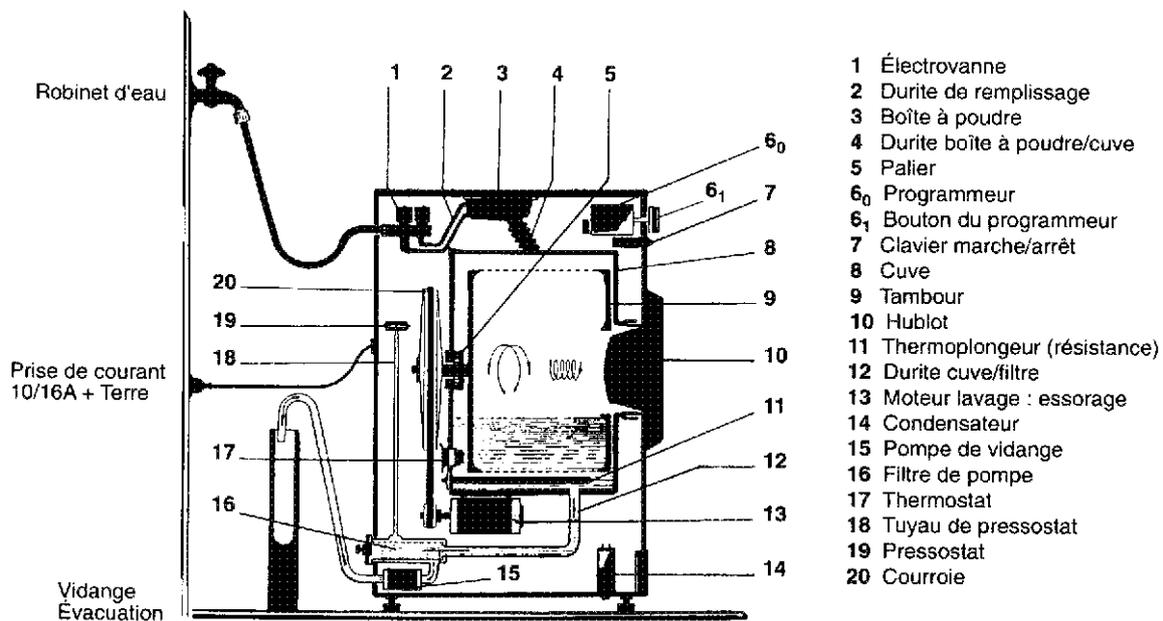
Machine à laver à chargement frontal. Principaux éléments (doc. MERENTIER)

Au niveau puissance, les seuls éléments nécessitant éventuellement une interface de puissance sont les deux moteurs. Pour la pompe de vidange le relais (ou le transformateur nécessaire) est intégré à la pompe. Pour le moteur de rotation on peut utiliser soit un relais soit une interface électronique (thyristor par exemple).

Si on veut utiliser une commande numérique (carte à microprocesseur) avec clavier de programmation, il faudra obligatoirement prévoir des interfaces de puissance, même si la commande des relais ne nécessite pas une grande puissance.

-5-Schéma de base de la machine à laver

[Haut de page](#)



Machine à laver à chargement frontal. Principaux éléments (doc. MERENTIER)

CHAPITRE 2 : LE GRAFCET

	PAGE
-I-INTRODUCTION	
-1-Rappel historique -----	22
-2-Généralités	
-II-ELEMENTS DU GRAFCET	
-1-Etape -----	23
-2-Transition et « réceptivité » -----	25
-3-Liaison orientée -----	25
-III-REGLES D'EVOLUTION	
-1-Règle 1 : initialisation -----	26
-2-Règle 2 : validation et franchissement d'une transition	
-3-Règle 3 : conséquences du franchissement d'une transition	
-4-Règle 4 : franchissements simultanés -----	27
-5-Règle 5 : activation et désactivation d'une même étape	
-IV-REPRESENTATION DES SEQUENCES MULTIPLES	
-1-Aiguillages -----	28
-2-Séquences simultanées -----	32
-3-Tâche ou séquence répétée ou sous programme -----	33
-4-Synchronisation entre plusieurs cycles-----	34
-V-COMPLEMENTS INTRODITS PAR LA NORME CEI-848	
-1-Hiérarchie de grafcets -----	36
-2-Modifications sur le graphisme -----	37
-3-Notion de macro étape ou représentation détaillée d'une étape -----	39
-VI-EXEMPLE D'APPLICATION -----	40

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- 1-Norme française NF-C03-190 «Diagramme fonctionnel GRAFCET pour la description des systèmes logiques de commande», édit Afnor (Association Française de Normalisation), 1982
- 2-Norme internationale IEC-848 «établissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande », édit CEI (Commission Electrotechnique Internationale), 1988
- 3-R.Thomas « Les évolutions du grafcet et de sa normalisation », CETIM informations, n°113-décembre 1989, Cetim établissement de Saint-Etienne, France

-I-INTRODUCTION

-1-Rappel historique

Présenté par l'AFCEC en 1977, le grafcet, tout en s'implantant de façon très rapide dans l'industrie et dans l'enseignement, est resté quand même cantonné en France. Il a poursuivi son évolution grâce aux travaux des commissions de l'AFCEC, de l'ADEPA et des groupes de normalisation. Il a été normalisé en France en 1982 sous la référence NFC 03190. Ce n'est qu'en 1988 que l'IEC (Commission Electrotechnique Internationale) a publié la norme IEC 488.

Cette dernière reprend dans la forme et l'esprit l'essentiel de la norme française, tout en y apportant quelques modifications dans la forme et en y ajoutant quelques compléments. La terminologie « *diagramme fonctionnel* » a été conservée mais ce n'est pas le cas de l'appellation « *grafcet* » qui n'apparaît plus que dans la bibliographie française. Le terme de « réceptivité » disparaît au profit de « *condition de transition* », mais la notion de *graphe réceptif* est introduite (réceptif aux conditions de transition et aux conditions appliquées sur les actions). La *macro-représentation* disparaît au profit de la *représentation détaillée* d'une étape.

Si les termes introduits dans la norme française ne sont pas significatifs en anglais, par contre exprimés en français l'abréviation « grafcet » ainsi que les termes « réceptivité » et « macro-étape » sont très explicites, et permettent une assimilation rapide des concepts sous-jacents. C'est pourquoi nous continuerons à les utiliser bien qu'ils ne fassent pas partie de la norme internationale.

-2-Généralités

Le GRAFCET (Graphe de Commande Etapes Transitions) est un outil graphique de description du cahier de charges de la partie commande d'un système automatisé, utilisable au niveau 1 comme au niveau 2.

Le fonctionnement de l'automatisme peut être représenté graphiquement par un ensemble :

- d'*étapes* auxquelles sont associées des *actions*,
- de *transitions* auxquelles sont associées des *informations* (réceptivités),
- de *liaisons orientées* reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

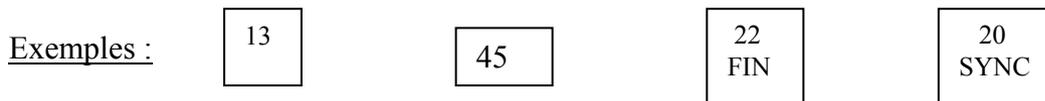
-II-ELEMENTS DU GRAFCET

-1-Etape

Elle correspond à une situation dans laquelle le comportement d’une partie ou de tout le système reste constant par rapport à ses entrées sorties. Une étape correspond donc à un état stable du système.

-1-a-Représentation

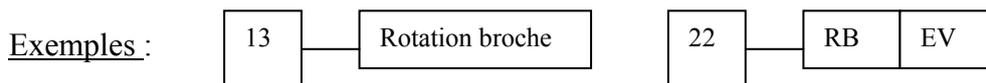
On représente graphiquement une étape par carré ou un rectangle avec un numéro à l’intérieur placé en haut ; on peut rajouter un nom symbolique en bas.



-1-b-Actions associées

Pour chaque étape on précise les actions à effectuer, caractéristiques de cette situation. Les actions sont représentées par des rectangles avec une description littérale ou symbolique.

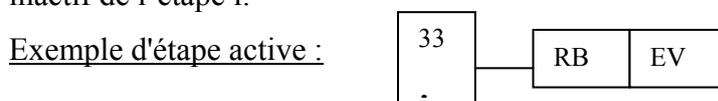
Ces actions ne sont effectives que lorsque l’étape est active.



-1-c-Etape active

Une étape peut être active ou inactive. On peut montrer une étape active à un instant précis en rajoutant le symbole point « . » en bas de l’étape. La situation du système automatisé à un instant donné est fournie par l’ensemble des étapes actives, donc celles pour lesquelles les actions associées s’exécutent.

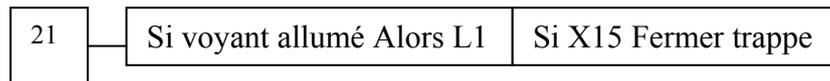
On note Xi (par exemple X33) la variable booléenne correspondant au caractère actif ou inactif de l’étape i.



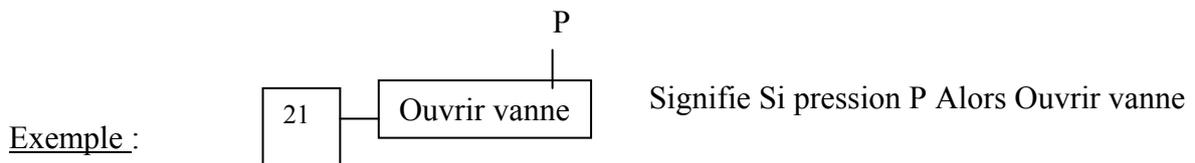
-1-d-Actions conditionnelles

L'exécution des actions peut être soumise à des conditions logiques, qui sont fonction des variables d'entrée ou de l'état actif ou inactif d'autres étapes. Par exemple l'expression « si X15 » signifie « si l'étape 15 est active » (c'est à dire $X15 = 1$).

Exemples :



On peut également noter une action conditionnelle en reliant la condition à l'action par un trait vertical disposé au-dessus de cette dernière.

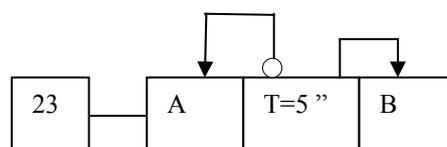


Lorsqu'il s'agit d'une variable interne qui est elle-même une action contrôlant d'autres actions au niveau d'une même étape, des liaisons orientées indiquent le sens de l'asservissement.

Par exemple si au niveau d'une étape 23 une temporisation contrôle deux actions A et B, et que l'on a le fonctionnement suivant lorsque l'étape 23 est active :

- temporisation de 5 secondes commandée systématiquement,
- pendant 5 secondes l'action A est validée et s'exécute, l'action B est inhibée,
- à l'expiration des 5 secondes, il y a déclenchement de la temporisation donc disponibilité de l'information fin de temporisation. Celle ci va stopper l'action A et autoriser l'action B.

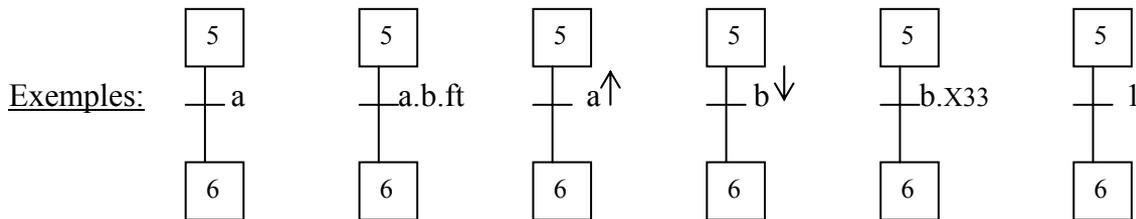
Le graphe décrivant ce fonctionnement sera alors le suivant :



-2-Transition et réceptivité

La transition indique la possibilité d'évolution d'une étape à une autre. Elle est représentée par un trait (généralement horizontal) perpendiculaire à la liaison orientée la reliant à l'étape.

- A chaque transition on associe une condition logique (appelée réceptivité) qui indique parmi toutes les informations disponibles, uniquement celles qui sont susceptibles à un instant donné de faire évoluer la partie commande d'une étape i vers une étape j, donc d'un état stable i vers un autre état stable j. Donc quand le système est dans l'état i, il est réceptif à cette information (il « écoute et l'attend ») et pas aux autres, d'où le terme de réceptivité pour désigner cette information particulière qui lui permet de changer d'état.
- Une réceptivité est une fonction combinatoire d'informations extérieures (états capteurs, consignes opérateur, état compteur ou temporisation), de variables auxiliaires ou de l'état actif ou inactif d'autres étapes.
- Une réceptivité toujours vraie est écrite égale à un.



-3-Liaisons orientées

Ce sont les voies d'évolution du grafcet. Deux liaisons orientées relient chaque transition à l'étape précédente et à l'étape suivante.

Les liaisons sont verticales (en général) ou horizontales. Quand le sens de la liaison n'est pas indiqué explicitement, le sens de la flèche est sous-entendu de haut en bas et de gauche à droite.

Lorsque plusieurs étapes sont reliées à une même transition, on représente le regroupement de plusieurs liaisons par deux traits parallèles.

-III-REGLES D'EVOLUTION

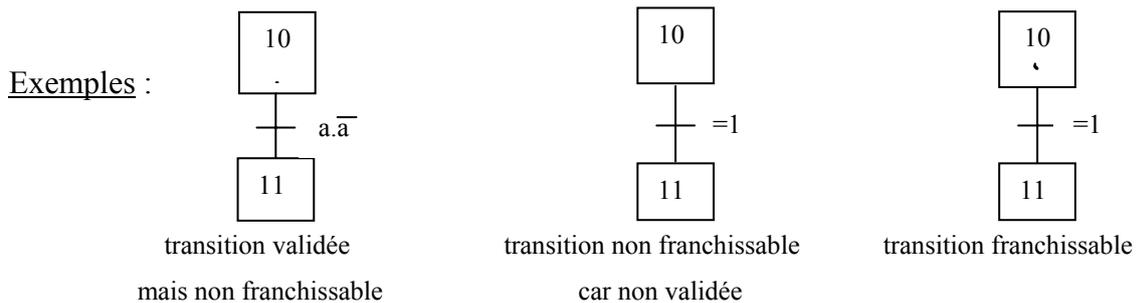
-1-Règle 1 : Initialisation

L'initialisation précise les étapes actives au début du fonctionnement. Elles sont activées inconditionnellement au début d'un fonctionnement cyclique. Après elles deviennent des étapes ordinaires, c'est à dire qu'elles sont activées et désactivées selon les mêmes règles que les autres étapes.

Elles sont repérées en doublant les côtés du carré représentant l'étape. 

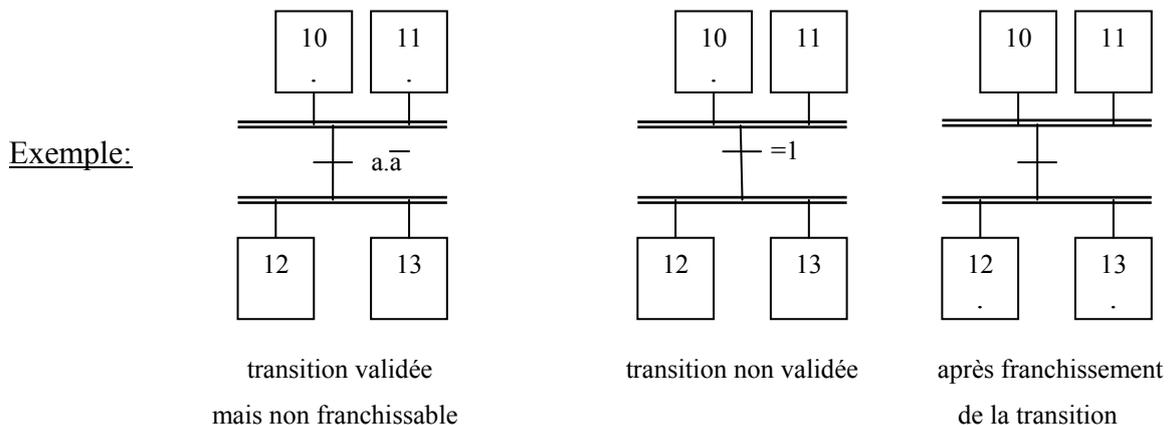
-2-Règle 2 : validation et franchissement d'une transition

Une transition est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être franchie que si elle est validée et si la réceptivité associée est vraie. Elle est alors obligatoirement franchie.



-3-Règle 3 : conséquences du franchissement d'une transition

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes, et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.



-4-Règle 4 : franchissements simultanés

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies (conséquence de la règle deux).

-5-Règle 5 : activation et désactivation d'une même étape

Si au cours du fonctionnement, une même étape doit être désactivée et activée en même temps, elle reste active.

Cette règle exprime en fait que le système ne possède pas d'état instable, et que la durée du passage d'un état stable vers un autre (franchissement d'une transition) est nulle. Il est à remarquer que dans la réalité (technologiquement parlant), cette durée de franchissement (ainsi que la durée d'activation d'une étape) ne peut être rigoureusement nulle, même si théoriquement (règles 3 et 4) elle peut être rendue aussi petite que l'on veut. Elle est fonction du temps de réponse des composants technologiques constituant l'automatisme.

-IV-REPRESENTATION DES SEQUENCES MULTIPLES

-1-Aiguillages

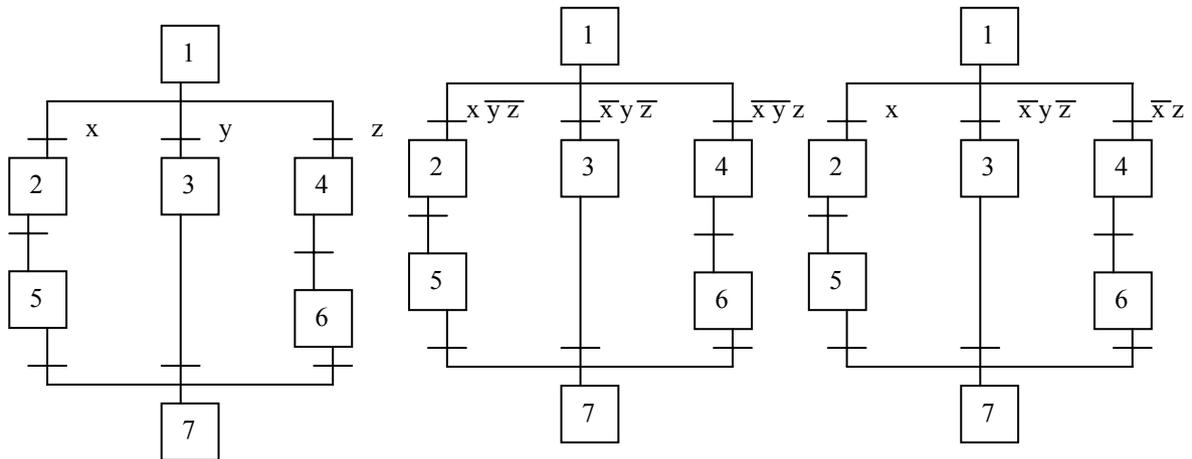
Une séquence est une suite d'étapes. Lorsque plusieurs séquences sont possibles, elle représentent différents fonctionnement possibles d'un même système. L'aiguillage correspond à une divergence en ou, et le retour au fonctionnement en une seule séquence (reprise en séquence) à une convergence en ou.

-1-a-Choix conditionnel entre plusieurs étapes

En conséquence de la règle 2, si les conditions de franchissement sont vérifiées, on peut rentrer en même temps dans les différentes séquences (cf figure 1-a si $x=y=z=1$), ce qui est une aberration car un système ne peut être simultanément dans deux états stables. Il faut donc rendre exclusives les réceptivités qui les commandent.

Si l'état logique 1 des différentes réceptivités correspond à un défaut de fonctionnement, l'exclusion aura pour conséquence de bloquer le système (cf figure 1-b si $x=y=z=1$), ce qui est normal en cas d'anomalie de fonctionnement.

Par contre si cet état est une possibilité de fonctionnement normal du système, il faut alors introduire une priorité dans les séquences (cf figure 1-c où l'ordre de priorité est: séquence 1, puis la 3 puis la 2).



1-a :aiguillage simple

1-b : séquences exclusives

1-c : séquences exclusives avec priorité

Figure 2.1 : aiguillages

-1-b-Saut d'étapes et reprise de séquence

Le saut d'étapes correspond à un morceau de séquence qui n'est pas effectué (sauté) si une certaine condition est vérifiée, puis le fonctionnement reprend normalement à partir d'une certaine étape. Ce genre de situation se rencontre souvent quand on a le choix entre deux (ou plusieurs) modes de fonctionnement, et que certaines opérations sont effectuées dans un mode et pas dans l'autre.

La reprise de séquence correspond au bouclage sur un morceau de séquence qui va se répéter tant qu'une certaine condition n'est pas vérifiée. Cette situation se rencontre souvent dans les opérations contrôlées par un compteur.

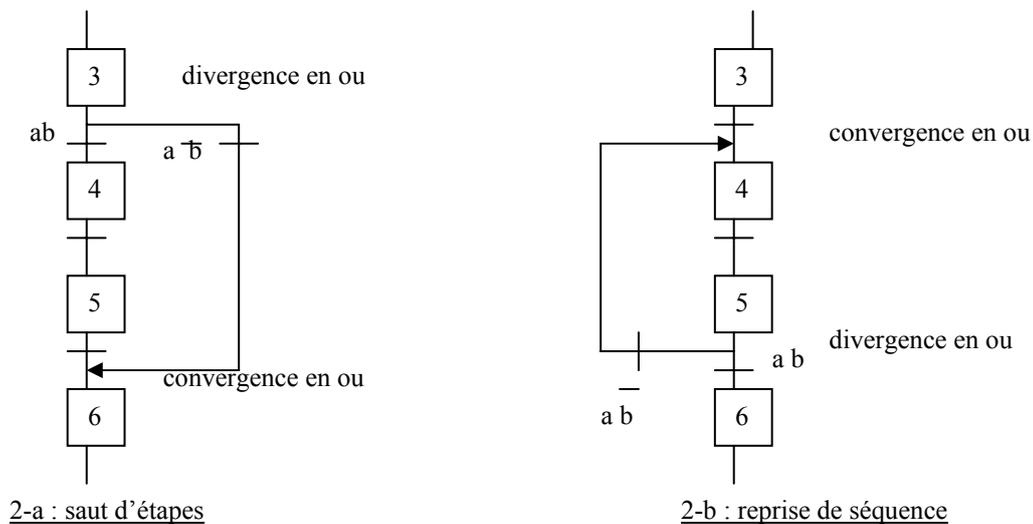
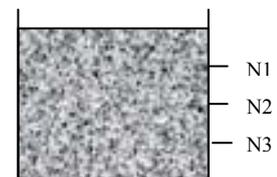


Figure 2.2 : saut d'étapes et reprise de séquence

1-c-Exemple d'aiguillage : permutation circulaire de pompes

Le niveau de liquide contenu dans un réservoir est contrôlé par 3 détecteurs N1, N2 et N3. L'alimentation de ce réservoir s'effectue par 3 pompes P1, P2 et P3. Chaque niveau découvert entraîne la mise en route d'une pompe.



Le nombre de pompes en service sera donc fonction du nombre de niveaux découverts. De plus afin d'équilibrer l'usure des pompes, celles-ci seront permutées à tour de rôle.

Le grafcet d'une telle commande peut être représenté ainsi :

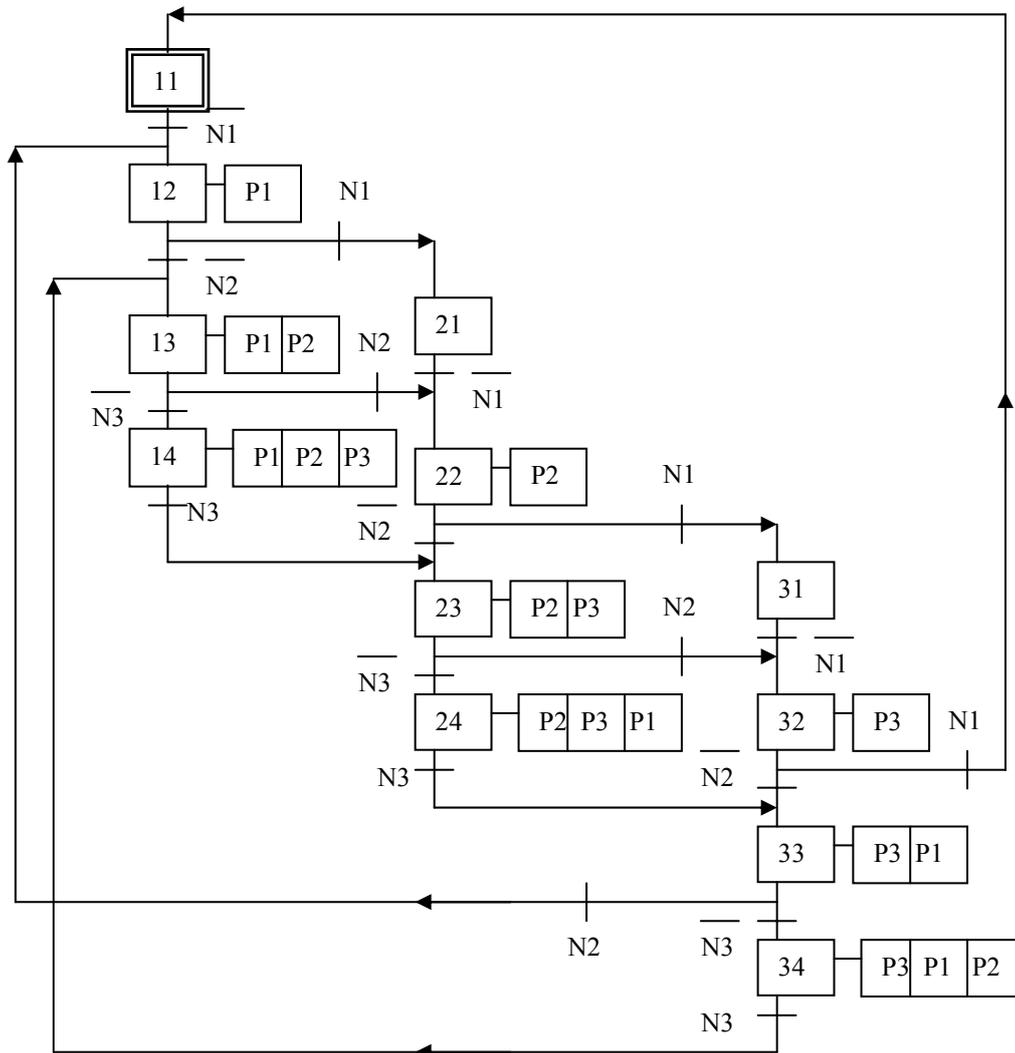
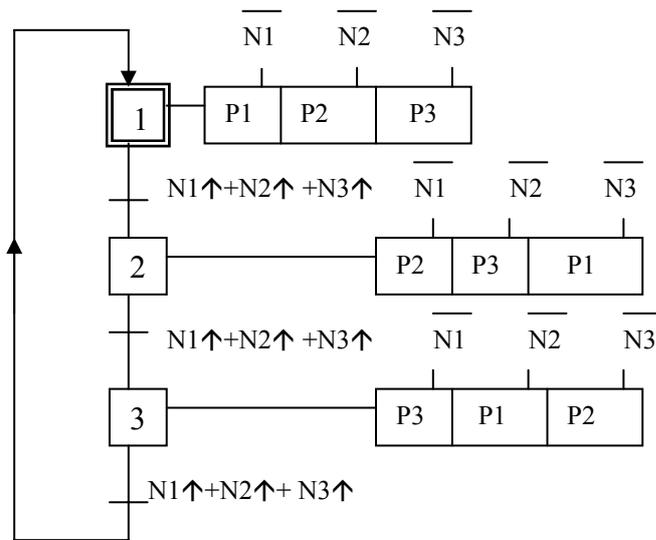


Figure 2.3 : graphe de la commande de la permutation circulaire de pompes

Remarques:

- Observons que le grafcet se décompose en trois parties (ou séquences) symétriques, dont les ordres correspondant à chaque séquence sont permutés circulairement.
- Dans une séquence déterminée (étapes 11, 12, 13, 14 par exemple), la progression dans les niveaux découverts correspond à la progression du nombre de pompes mises en action. Cette fonction est en fait combinatoire et pourrait aussi se représenter comme sur la figure 2.4 où chaque séquence sera représentée par une seule étape, et où on met également à profit la représentation graphique des actions conditionnelles.



Le passage d'une séquence à l'autre s'effectue dès qu'un niveau N1, N2 ou N3 est à nouveau recouvert. Comme ce niveau était découvert, cette information correspond à l'apparition d'un signal de recouvrement, ou à la somme logique des apparitions si on considère les trois niveaux.

Figure 2.4: représentation condensée du graphe de la figure 2.3

-2-Séquences simultanées

Un grafcet peut comporter plusieurs séquences simultanées, mais il faut que les *évolutions* des étapes actives dans chaque branche restent *indépendantes*. Le début des séquences simultanées est une divergence en et, et la fin une convergence en et.

Une transition unique (d'entrée) et deux traits parallèles indiquent le début des séquences simultanées. Elles correspondent en général au fonctionnement en parallèle de plusieurs machines qui coopèrent à la réalisation d'une tâche commune.

Une transition unique (de sortie) et deux traits parallèles indiquent également la fin des séquences simultanées. La condition de transition (réceptivité) n'est testée que si toutes les étapes de fins de séquences sont actives (conséquence de la règle 2). On parle alors d'attente réciproque vers une séquence commune. Pour illustrer cela on a pour habitude d'introduire une *étape d'attente* en fin de chaque séquence (cf figure 5-a), la réceptivité de la transition de sortie est alors mise à un. Si ce n'est pas le cas, par souci de clarté on peut noter entre parenthèses les informations particulières à chaque branche produites en fin de séquence ; et la réceptivité de la transition de sortie est le produit de ces informations (cf figure 5-b).

L'inconvénient quand on n'introduit pas d'étape d'attente, est que l'action associée à la dernière étape d'une branche continue (même si la branche a terminé son travail) jusqu'à ce que l'autre branche soit arrivée en fin de séquence. Cela n'est pas sans risque pour le matériel (échauffement d'un moteur de translation par exemple alors qu'on est en fin de course).

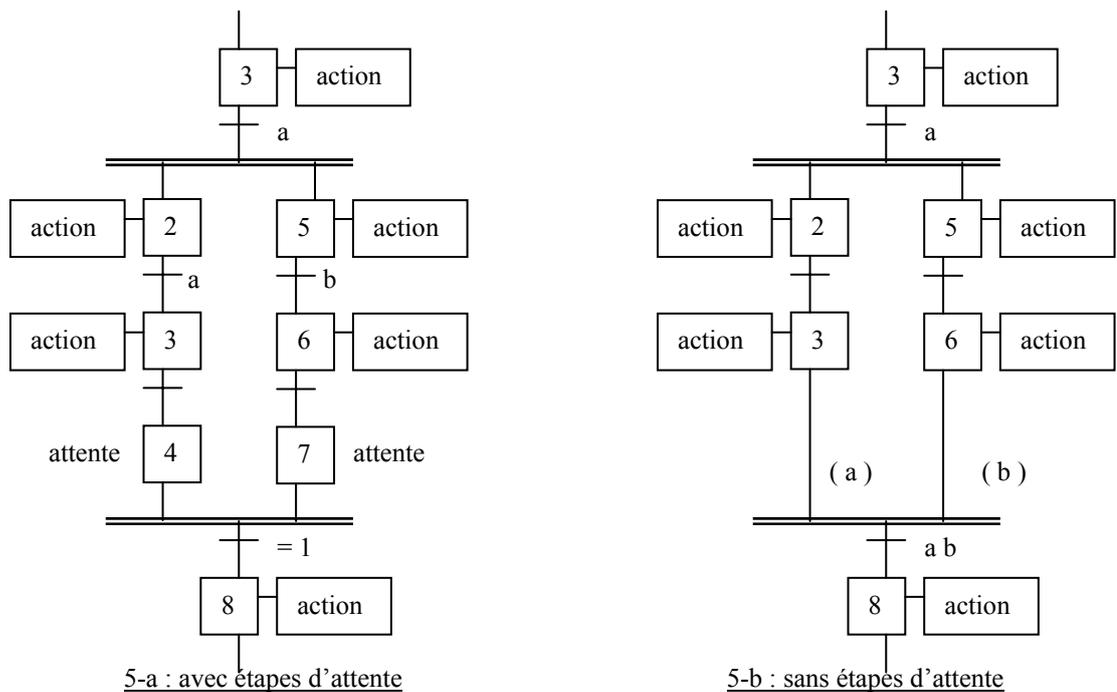


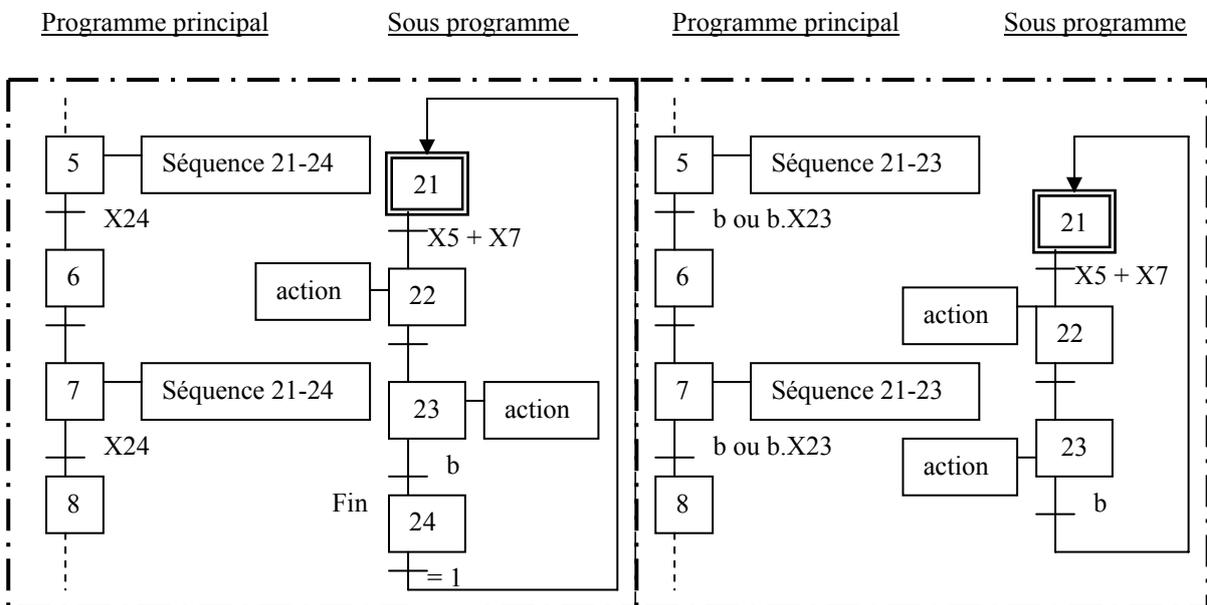
Figure 2.5 : séquences simultanées

-3-Tâche ou séquence répétée ou sous programme

Lorsqu'une séquence se répète plusieurs fois dans le cycle de fonctionnement, par souci de clarté et d'allègement du graphe, on l'extrait du grafcet pour en faire un *sous programme* (c'est à dire une *tâche* à part entière). On représente cette séquence par un grafcet séparé (graphe de la tâche) dont le fonctionnement est cyclique.

La première étape du sous programme est une étape initiale au même titre qu'une étape initiale ordinaire. L'entrée dans le sous programme se fait en introduisant comme conditions de franchissement de la première transition l'activité des étapes (du programme principal) d'appel du sous programme (cf figure 2.6). La fin du sous programme est marquée de préférence en introduisant une étape de fin, et le bouclage sur son étape initiale se fait par transition unitaire (cf figure 6-a).

L'appel du sous programme est symbolisé par une action associée à l'étape d'appel, dont la nature est décrite par le mot «séquence » suivi des numéros d'étapes de début et fin du sous programme. Le retour au programme principal se fait en introduisant dans la réceptivité de la transition (qui suit chaque étape d'appel du sous programme) l'activité de la dernière étape du sous programme (cf figure 6-a) et/ou l'information produite par la fin de ce dernier (cf fig. 6-b).



6-a : avec une étape de fin de la tâche

6-b : sans étape de fin de la tâche

Figure 2.6 : exemple de sous programme et représentations

-4-Synchronisation entre plusieurs cycles

Lorsque plusieurs cycles évoluent séparément, il est quelquefois nécessaire d’assurer des interverrouillages entre des séquences appartenant à des cycles différents, et ayant des fonctionnements simultanés incompatibles dans certaines parties des cycles (séquences exclusives), ou au contraire qui doivent se suivre séquentiellement et s’attendre mutuellement (séquences synchronisées).

-4-a-Séquences exclusives

Ce cas se produit lorsque les séquences « litigieuses » partagent une ressource commune, et doivent donc s’exclure mutuellement pour l’accès à cette ressource. On peut symboliser cela par la technique dite de la *boîte aux lettres* ou du *jeton* : une étape d’interverrouillage (symbolisant le jeton) est commune à l’entrée de toutes ces séquences, et reste activée (jeton disponible) tant que les séquences sont libres (cf figure 2.7). Cette étape est immédiatement désactivée (prise du jeton) dès que l’une d’entre elles est démarrée. La réactivation de cette étape commune ne sera effectuée (libération du jeton) que lorsque la séquence en cours sera complètement terminée. Les différents cycles conservent donc leur indépendance en dehors des séquences exclusives, chaque cycle pouvant être arrêté sans aucune conséquence pour les autres.

L’étape d’interverrouillage est une étape initiale, c’est à dire qu’elle doit être activée en même temps que les autres étapes initiales des cycles. Des étapes d’attente doivent être prévues dans chaque cycle.

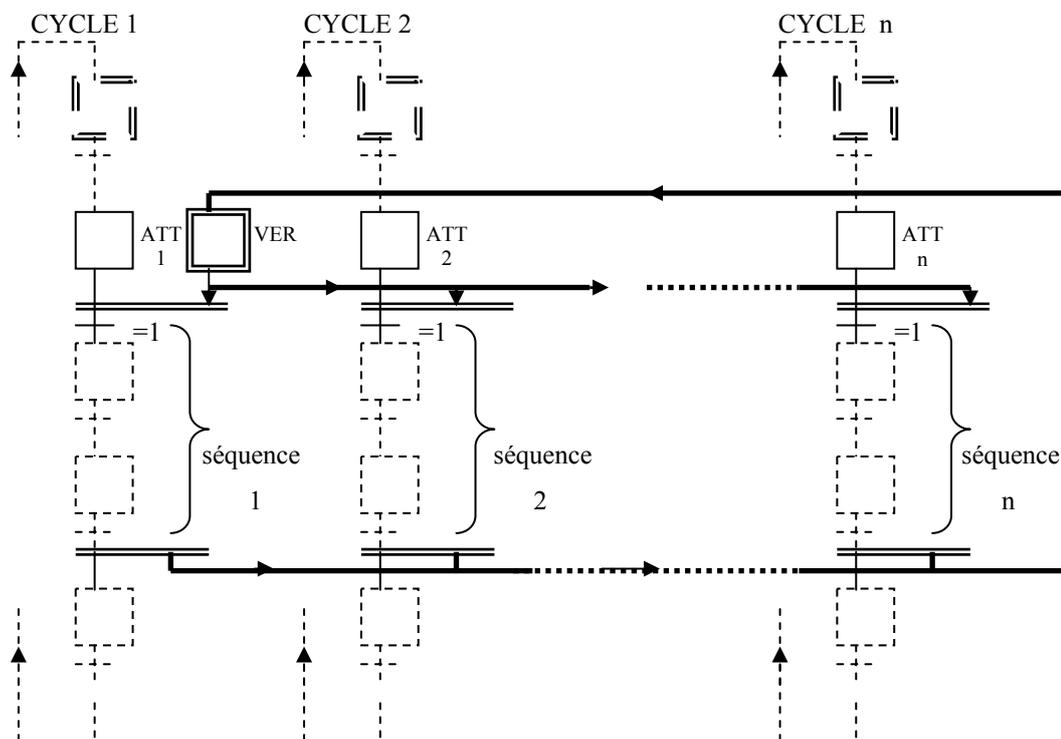


Figure 2.7 : synchronisation de cycles avec séquences exclusives

-4-b-Séquences synchronisées

Plusieurs séquences appartenant à des cycles différents peuvent devoir s'exécuter dans un ordre bien défini, tel que par exemple le partage d'une ressource avec interdiction d'accès à cette ressource deux fois de suite (c'est à dire tant que tous les autres cycles n'y ont pas accédé, comme dans le "polling" des structures "maître-esclave" dans les réseaux de télécommunication), ou bien chaque séquence a besoin du résultat de la séquence précédente pour effectuer sa tâche (postes de travail sur une chaîne de production en usine). Cela peut être schématisé par une technique de boîtes aux lettres multiples ou de "passage de témoin" (comme en athlétisme) : chaque cycle qui a terminé sa séquence exclusive passe le témoin à la séquence exclusive suivante.

On prévoit donc une étape d'attente dans chaque cycle ainsi qu'une étape de synchronisation. L'étape de synchronisation du premier cycle autorisé à accéder à cette ressource commune sera de type étape initiale.

Remarque :

Contrairement au cas des séquences exclusives où chaque cycle est indépendant de l'autre, dans les séquences synchronisées les cycles sont interdépendants : l'arrêt de l'un d'entre eux entraîne le blocage de tous les autres.

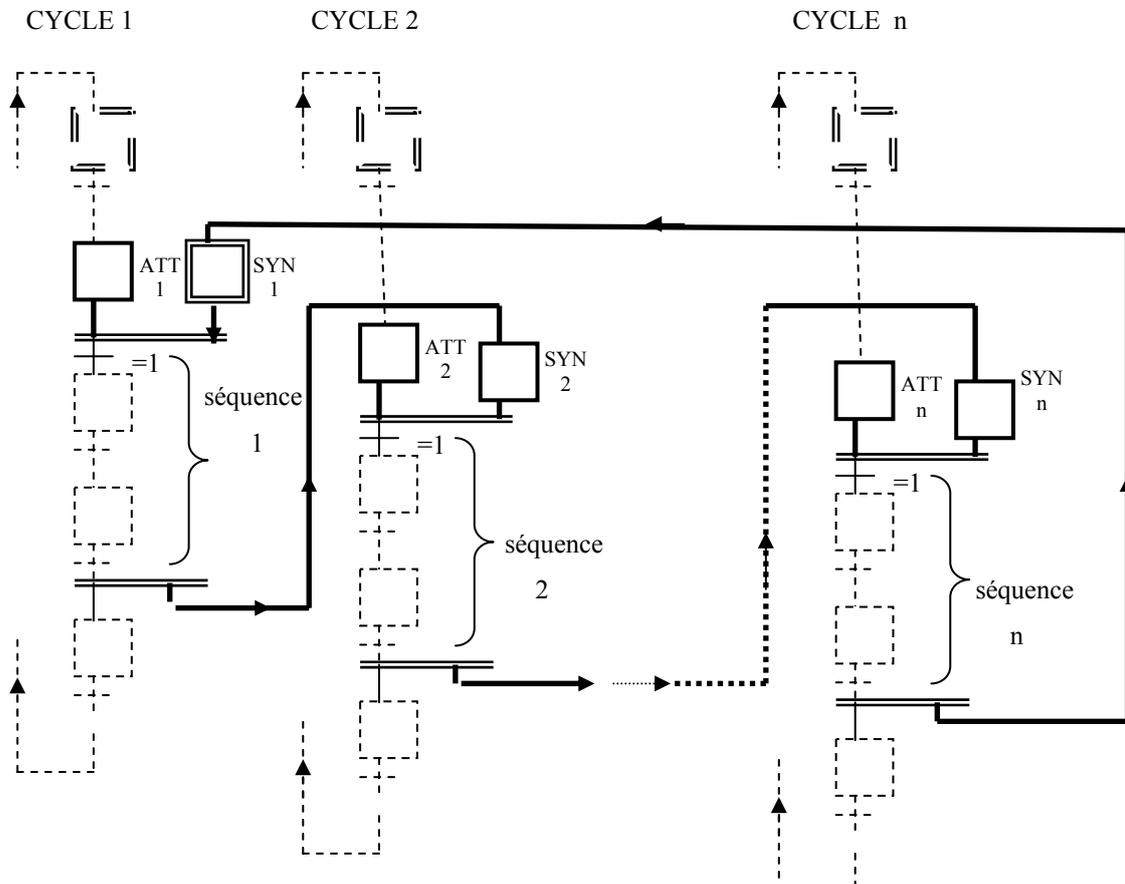


Figure 2.8 : synchronisation de cycles avec séquences synchronisées

-V-COMPLEMENTS INTRODUIITS PAR LA NORME CEI-848

Nous allons décrire dans ce qui suit des éléments du grafcet qui sont secondaires, c'est à dire non indispensables, et qui n'existaient pas dans la définition originelle du grafcet. Certains (parties 1 et 3) sont présents sous une autre forme dans la norme française, tandis que d'autres (partie 2) sont des ajouts introduits par la norme internationale.

Cette partie est un simple complément qui ne modifie en rien tout ce qui a été décrit jusqu'ici sur le grafcet.

-1-Hiérarchie de grafkets

L'évolution des commandes des processus vers des systèmes répartis, a conduit à proposer la notion de forçage. Cette notion sous-entend l'existence d'une hiérarchie dans les graphes, avec la notion de *maître* et d'*esclave*. On distingue en général dans la hiérarchie trois types de graphes : le *graphe de sûreté* (GS), le *graphe de commande* (GC), le *graphe de production* (GP) ou de *fonctionnement normal* (GFN).

Trois types de forçages ont été acceptés dans la norme CEI 848.

-1-a-Désactivation totale du ou des graphes esclaves : F/ Graphe_Esclave ()

Cette action met toutes les étapes du grafcet esclave à l'état inactif. Ce dernier ne pourra être réutilisé qu'après réactivation par le grafcet maître.

-1-b-Mise en situation initiale : F/ Graphe_esclave (I)

Cette action a pour effet d'activer uniquement les étapes initiales du grafcet esclave, et ce quelle que soit la situation antérieure du graphe (actif, inactif ou en fonctionnement).

-1-c-Mise en situation quelconque : F/ Graphe_esclave (Xi,Xj,...)

Le principe est le même que le précédent, mais les étapes activées ne sont pas des étapes initiales du grafcet esclave, mais des étapes dites initialisables. On les représente par un double trait dont la partie intérieure est en pointillés (X3 et X5 dans l'exemple de la figure 2.9).

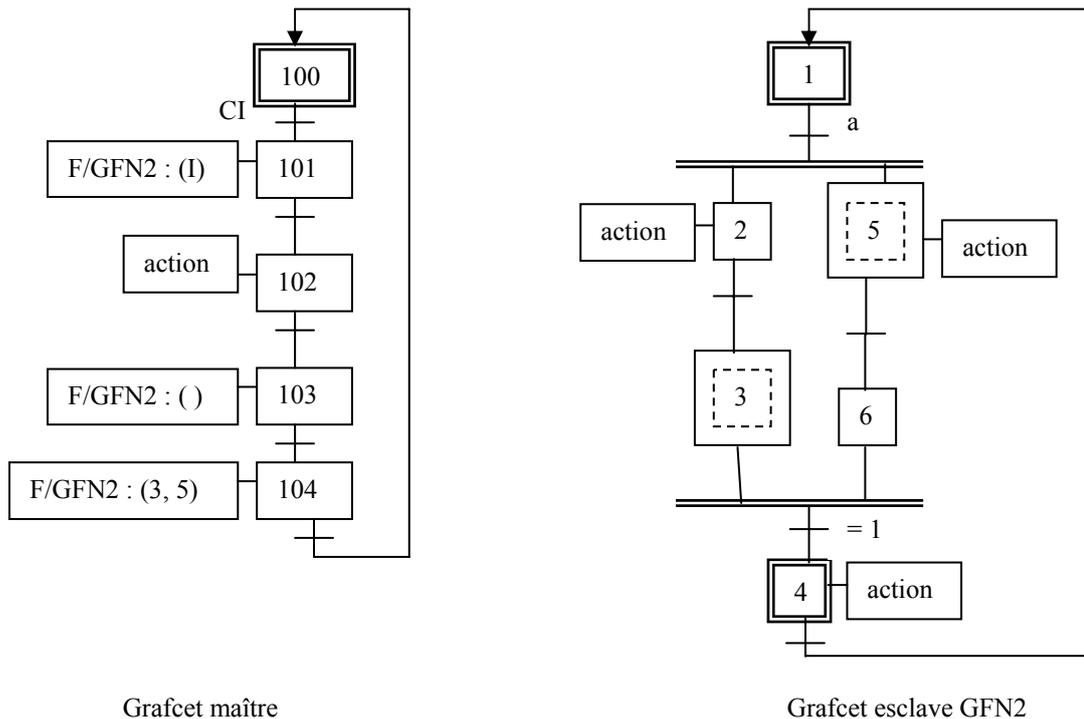


Figure 2.9 : grafquets hiérarchiques

2-Modifications sur le graphisme

Des modifications sur le graphisme ont été introduites pour se rapprocher des autres graphes déjà existant, par un rajout d'informations supplémentaires sur la nature des actions et des temporisations, l'innovation réellement notable étant une meilleure description de certains aspects séquentiels. Tout ceci bien entendu au prix d'une surcharge du graphe.

Les modifications importantes sont au nombre de trois :

-2-a-Durée de validité d'une information

Cette notion a été rajoutée pour tenir compte du temps de réponse des systèmes, et surtout pour tenir compte des systèmes de commande digitaux avec bus trois états (qui tendent à se généraliser), où une information présente sur le bus a une durée de vie limitée.

La notation t1/a/t2 de l'exemple figure 2.10 signifie que dès que l'information "a" est vraie, cette information n'est disponible qu'au bout d'un temps t1. De plus sa durée de validité est égale à t2.

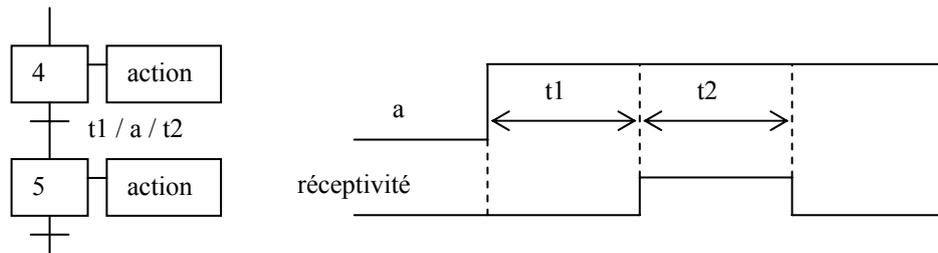


Figure 2.10 : limitation de la durée de validité d'une information

-2-b-Généralisation de l'information de transition

La condition de transition n'est plus limitée à des variables logiques, mais elle est généralisée à des schémas logiques ou logigrammes. Ainsi dans l'exemple de la figure 2.11 le logigramme et le schéma électrique produisent l'information $a(b+c)$ qui est la réceptivité associée à la transition.

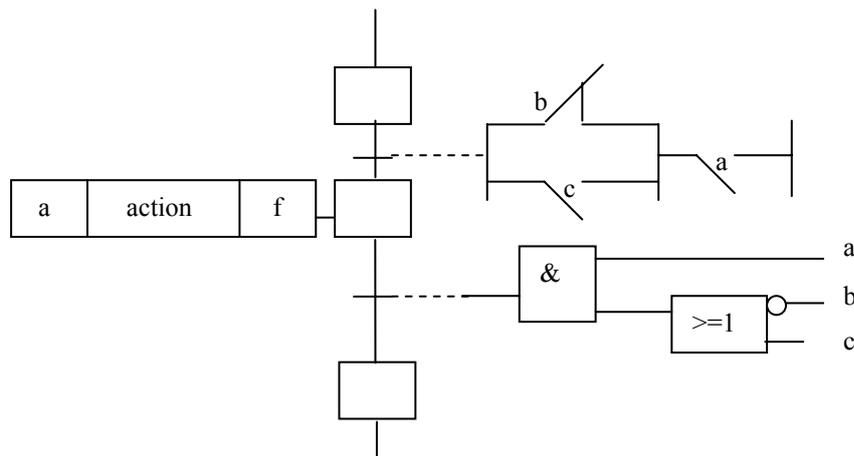


Figure 2.11 : extension de la représentation des réceptivités et description des actions

-2-c-Description séquentielle des actions

Le traitement des actions est remanié dans la forme : on rajoute une information de description du traitement binaire du signal d'activation de l'étape, ainsi qu'une référence du signal de fin d'exécution (respectivement « a » et « f » sur l'exemple de la figure 2.11).

Quatre types de traitements ont été retenus pour l'information « a », repérés par des lettres : S pour les actions mémorisées (Stored), D pour les actions retardées (Delayed), L pour les actions limitées dans le temps (Limited), C pour les actions conditionnelles (Conditional).

En cas de cumul des traitements, l'ordre d'écriture est important (par exemple SC est différent de CS).

-3-Notion de macro étape ou représentation détaillée d'une étape

Cette notion (présente dans la norme française) est différente de celle de sous programme. Il s'agit simplement de la représentation d'un ensemble d'actions qui se déroulent séquentiellement au niveau d'une même étape. Par souci de précision et de lisibilité, on éclate cette étape en plusieurs étapes et on parle alors de représentation détaillée d'une étape.

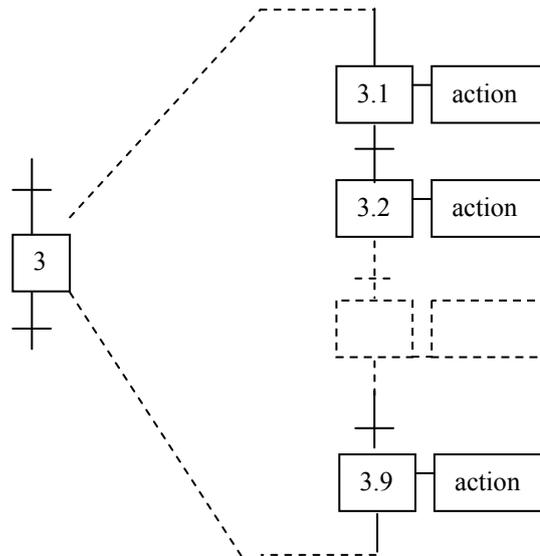


Figure 2.12 : macro étape

Remarque :

L'étape de sortie 3.9 participe à la validation de la transition de sortie de la macro étape 3.

-VI-EXEMPLE D'APPLICATION : Gestion d'une barrière de parking d'immeuble

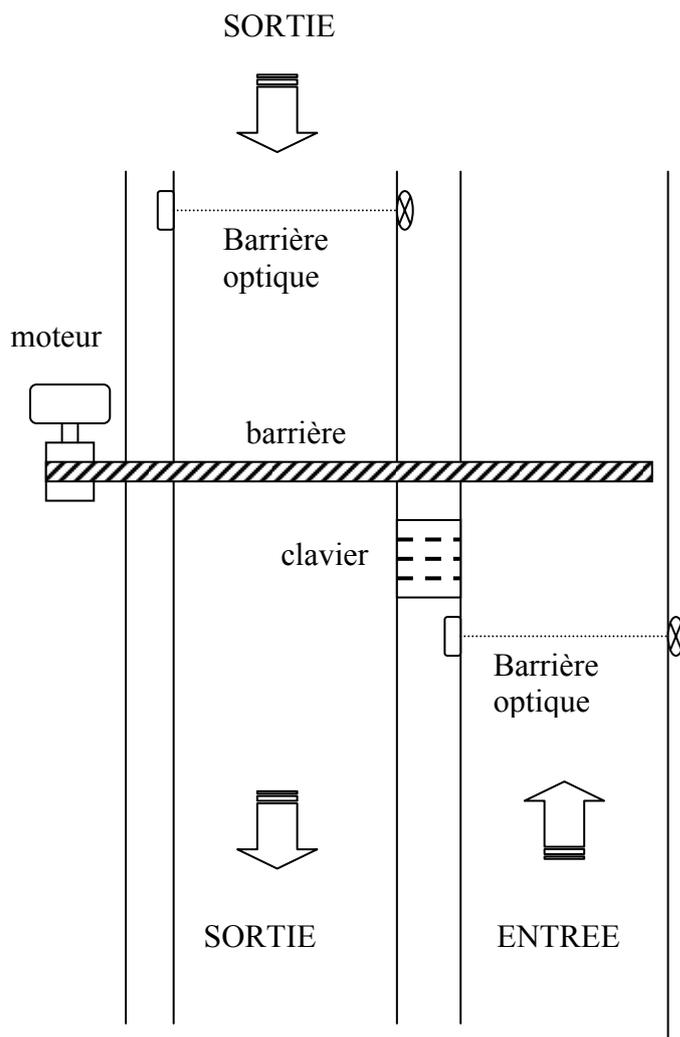
Deux barrières optiques contrôlent les accès à l'entrée (e) et à la sortie (s).

L'ouverture se fait soit après validation (v) du code confidentiel tapé au clavier par le conducteur entrant, soit après détection par la barrière optique (s) qu'un véhicule veut sortir.

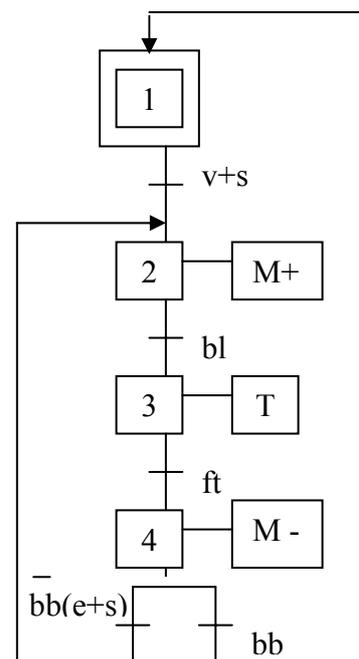
Une fois que la barrière est en position fin de course levée, la fermeture se fait au bout de 3 secondes (on utilise une temporisation externe). Pendant la descente de la barrière, si on détecte qu'un véhicule veut sortir (s) ou veut rentrer (e), la barrière se relève automatiquement.

La barrière est actionnée par un moteur à deux sens de marche, commandé par deux contacteurs : M+ (montée) et M- (descente). Les fins de courses sont détectées par 2 contacts : bl (barrière levée) et bb (barrière baissée).

Schéma de principe de l'installation



Grafcet modélisant la commande



-VI-EXEMPLE D'APPLICATION : Gestion d'une barrière de parking d'immeuble

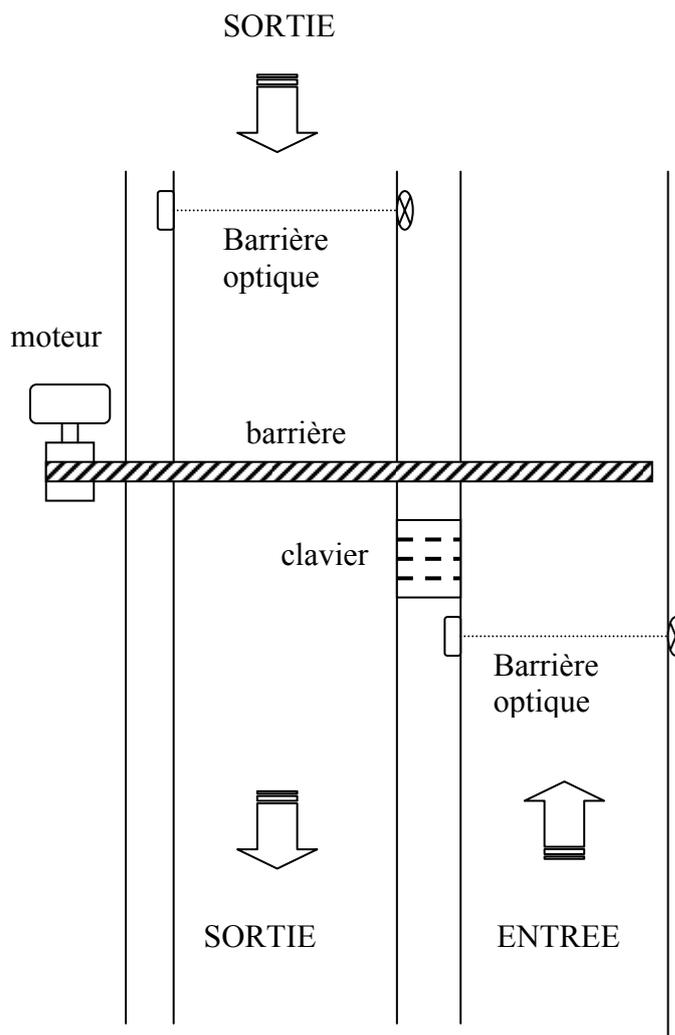
Deux barrières optiques contrôlent les accès à l'entrée (e) et à la sortie (s).

L'ouverture se fait soit après validation (v) du code confidentiel tapé au clavier par le conducteur entrant, soit après détection par la barrière optique (s) qu'un véhicule veut sortir.

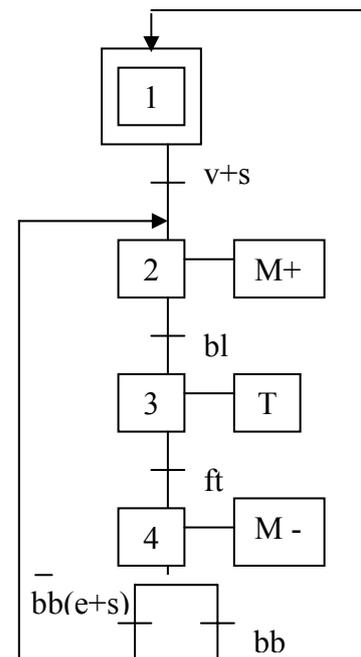
Une fois que la barrière est en position fin de course levée, la fermeture se fait au bout de 3 secondes (on utilise une temporisation externe). Pendant la descente de la barrière, si on détecte qu'un véhicule veut sortir (s) ou veut rentrer (e), la barrière se relève automatiquement.

La barrière est actionnée par un moteur à deux sens de marche, commandé par deux contacteurs : M+ (montée) et M- (descente). Les fins de courses sont détectées par 2 contacts : bl (barrière levée) et bb (barrière baissée).

Schéma de principe de l'installation



Grafcet modélisant la commande



CHAPITRE 3 : ELEMENTS DE TECHNOLOGIE

-I- RAPPEL SUR LA STRUCTURE D'UN AUTOMATISME	42
DANS LES TECHNOLOGIES CONCURRENTES	
-II- ACTIONNEUR PNEUMATIQUE : LE VERIN	
-1-Description	43
-2-Dimensionnement	44
-3-Capteurs de fin de course	46
-4-Différents types de vérins	47
-5-Exercice d'application	48
-III- PREACTIONNEUR POUR ACTIONNEUR PNEUMATIQUE: LE DISTRIBUTEUR	
-1-Moyens de pilotage ou de commande	51
-2-Symboles normalisés	
-3-Electrodistributeurs	52
-4-Auxiliaires de distribution	55
-5-Exemple d'application	57
-IV- LES INTERFACES	
-1-Interfaces modifiant les paramètres d'un signal (pneumatiques, électriques, électroniques)	59
-2-Interfaces modifiant la nature d'un signal (électrovanne, contact à pression, manostat & vacuostat, électrodistributeur)	67
-V- LA FONCTION MEMOIRE	
-1-Généralités	69
-2-Mémoire monostable (pneumatique, électrique)	
-3-Mémoire bistable (pneumatique, électrique, électronique)	70
-VI- ORGANE DE COMMANDE : LE PROGRAMMATEUR CYCLIQUE A CAMES	
-1-Principe	72
-2-Caractéristiques d'un programmeur à cames	73
-3-Exemple	74

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- M.Pinot & al « Du grafcet aux automates programmables », collection L.P., édit Foucher, Paris 1986
- 2- G.Boujat & J.P.Pesty « Automatismes », collection AGATI, série Bac Pro, édit Dunod, Paris 1993
- 3- F.Degoulange & al « Automatismes », classes de première et terminale E,F,BT- formation permanente, édit Dunod, Paris 1983.
- 4- Parker Pneumatic & Telepneumatic « Constituants pneumatiques », catalogue technique, juin 1995

-I- RAPPEL SUR LA STRUCTURE D'UN AUTOMATISME DANS LES TECHNOLOGIES CONCURRENTES

TECHNO-LOGIE	ACTIONNEUR	PREACTION-NEUR	CAPTEURS	LOGIQUE DE COMMANDE
Electrique	-Moteur électrique (à CC, pas à pas, asynchrone...), - Electroaimant (levage des grandes charges) -Résistances	-Contacteur -Relais -Electroaimant (pour actionner électrovanne, serrure, serrage, levage, freinage...)	Electriques (fins de course, interrupteurs, boutons poussoirs, codeurs, potentiomètres etc...)	-Concevoir soi-même le boîtier de commande (électrique ou électronique), -Relais,-Séquenceurs, -API,-Ordinateur, -Programmateur à cames réglable à E/S électriques
Electro pneumatique ou Electro hydraulique	-Vérin pneumatique ou hydraulique -Moteur hydraulique	-Electrodistributeur -MIE : Module d'Interface Electropneumatique - MIE+Distributeur à commande pneumatique	Electriques : -manostat et vacuostat à sortie électrique, -contact à pression (interface de transduction)	Idem à électrique (pour le programmeur à cames, les E/S peuvent être électriques et/ou pneumatiques)
Tout pneumatique	Vérin pneumatique	Distributeur à commande pneumatique	Pneumatiques	-Cellules pneumatiques, -Relais & Séquenceurs pneumatiques, -Programmateur à cames réglable à E/S pneumatiques

Remarques

Quand on parle de capteur électrique, cela signifie que le signal délivré est électrique.

La logique de commande électrique a de plus en plus tendance à devenir une logique d'interfaçage, d'amplification et de sécurité. La logique de commande électronique est surtout utilisée pour le traitement de l'information à cause de sa faible consommation d'énergie, de son faible volume, de sa puissance de traitement, de la possibilité de programmation de certains composants et de son faible coût.

Excepté les préactionneurs les plus courants, nous avons volontairement occulté les interfaces dans ce tableau. Elles feront l'objet du paragraphe IV de ce même chapitre.

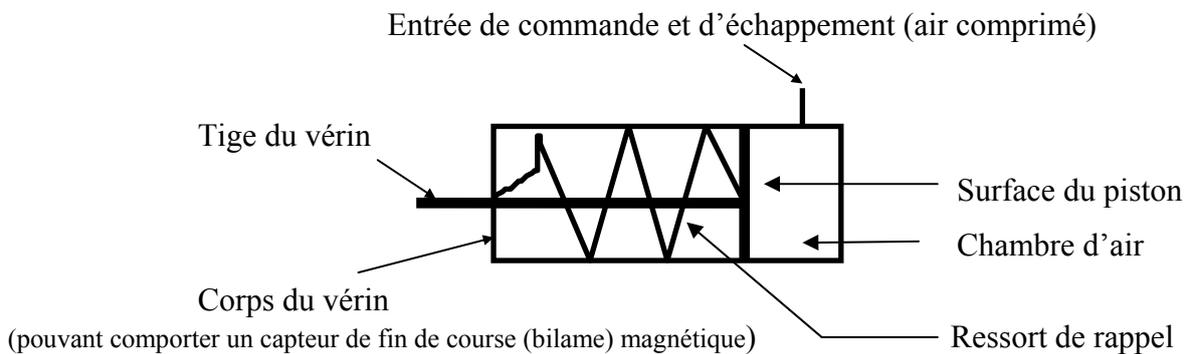
-II-LE VERIN

En technologie fluide, il peut être pneumatique ou hydraulique. On se limitera à l'étude du principe du vérin pneumatique linéaire à tige.

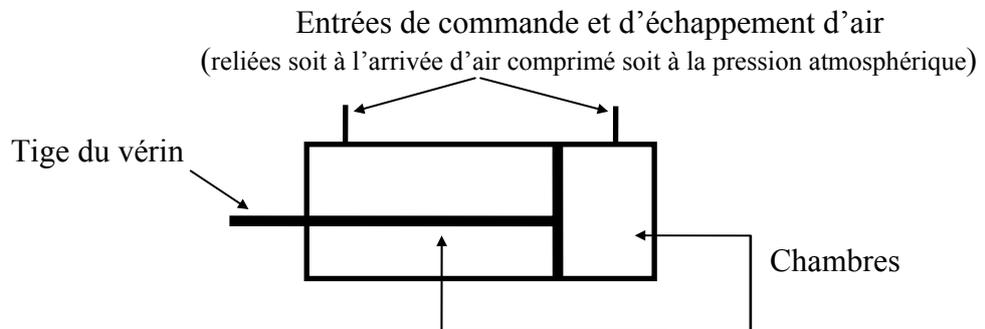
De l'air comprimé est envoyé dans la chambre du vérin. Sous l'effet de la pression exercée sur la surface du piston, la tige du piston sort du corps du vérin avec une force F . La rentrée de la tige s'effectue soit sous l'effet d'un ressort de rappel (simple effet), soit pas le biais d'une autre commande d'air comprimé sur la surface opposée du piston (double effet).

-1-Description

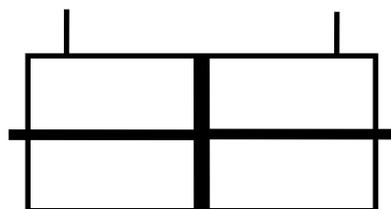
-Vérin simple effet (une entrée de commande et ressort de rappel) :



-Vérin double effet (2 entrées de commande) :



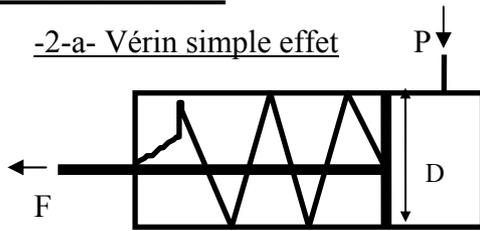
-Vérin double effet 2 tiges (1 ou 2 entrées de commande) :



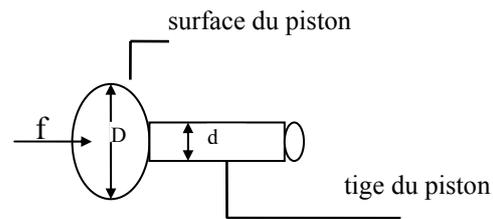
2 entrées de commande



1 entrée de commande et ressorts de rappel

-2-Dimensionnement**-2-a- Vérin simple effet**

F : force théorique exercée par le vérin

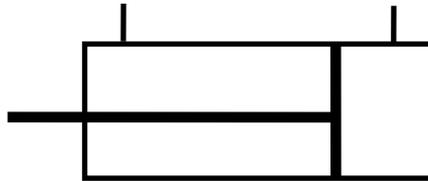


$f = P \times S$ (d'après la loi de Mariotte),

où S : section = $\Pi D^2 / 4$, P : pression exercée sur la surface

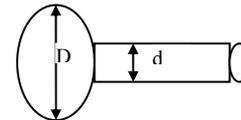
F_{th}	=	$P \times S$	-	$F_{ressort}$
Newton		$MPa \text{ } mm^2$		Newton

$$(1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bars})$$

-2-b-Vérin double effet

S : section du piston

s : section de la tige



*Force théorique exercée par la tige en sortant :

$$F_{ts} = P \times S = P \times \Pi D^2 / 4$$

*Force théorique exercée par la tige en rentrant :

$$F_{tr} = P \times (S - s) = P \times \Pi / 4 (D^2 - d^2)$$

-2-c-Taux de charge d'un vérin

$$\tau = \text{Force utile} / \text{Force théorique}$$

(en général $0,5 < \tau < 0,8$)

La force théorique correspond à l'effort statique : c'est l'effort développé par le vérin à l'arrêt (exemple bridage, serrage...).

La force utile correspond à l'effort dynamique : c'est l'effort disponible sur le vérin (à l'extrémité de la tige pour un vérin linéaire) pour déplacer une charge à vitesse convenable.

Le taux de charge communément utilisé est de 0,6.

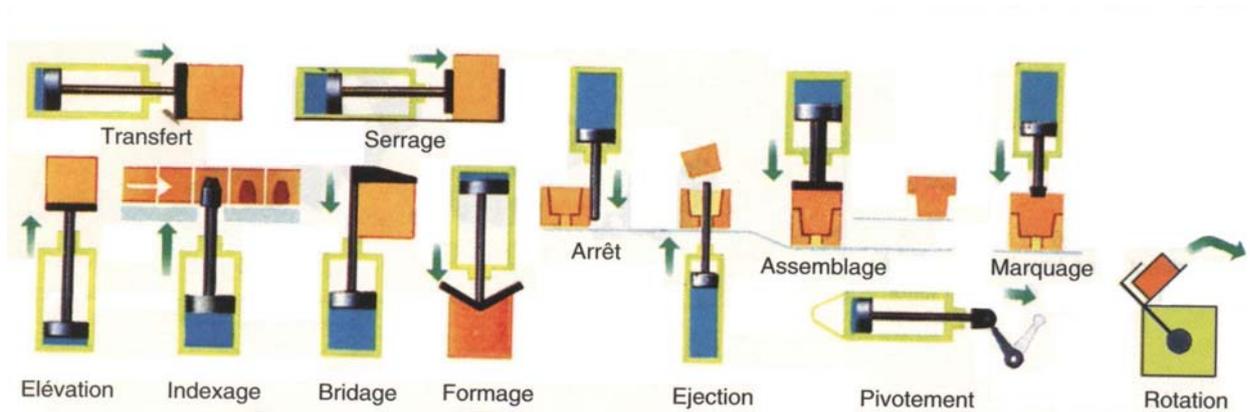


Figure 3.1 : Différentes utilisations d'un vérin

-2-d- Consommation d'un vérin

La consommation C est généralement donnée par les abaques des constructeurs. Elle est fonction de la section et de la pression de travail. Elle s'exprime en litre par centimètre de course du vérin. Le volume d'air (V) consommé pendant une certaine durée s'exprime en litres ou en litres/heure.

*Vérin simple effet :

$$\mathbf{V = C \times L = S \times L} \quad (\text{volume à exprimer en litres})$$

C : Consommation en l/cm ; L : course du vérin en cm ; S : section en cm²

*Vérin double effet :

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{sortie}} &:= V \text{ du vérin simple effet} = S \times L = C_{\text{sortie}} \times L = C_{\text{piston}} \times L \\ V_{\text{rentrée}} &:= (S - s) \times L = S \times L - s \times L = V_{\text{sortie}} - V_{\text{tige}} \\ V_{\text{tige}} &:= C_{\text{tige}} \times L \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$V_{\text{rentrée}} = (C_{\text{piston}} - C_{\text{tige}}) \times L = C_{\text{rentrée}} \times L$$

Pour un aller-retour du vérin : $C_{\text{totale}} = C_{\text{sortie}} + C_{\text{rentrée}}$

$$\begin{aligned} \mathbf{V_{\text{total}} = V_{\text{sortie}} + V_{\text{rentrée}} = 2 V_{\text{sortie}} - V_{\text{tige}} = C_{\text{totale}} \times \text{course } L} \\ \mathbf{= L \times (2 \times S - s) = L \times (2 \times C_{\text{piston}} - C_{\text{tige}})} \end{aligned}$$

-3-Détection de la fin de course d'un vérin

Pour connaître la position exacte des vérins (tige sortie ou rentrée), les éléments de détection sont soit placés sur la partie opérative ou sur la machine (capteurs à action mécanique), soit implantés directement sur le vérin (capteurs à action pneumatique ou magnétique).

-3-a- Capteurs pneumatiques à seuil de pression

Ces capteurs utilisent la chute de pression dans la chambre d'échappement du vérin, et sont directement montés sur les orifices du vérin. Ils peuvent émettre un signal de sortie pneumatique, électrique ou électronique.

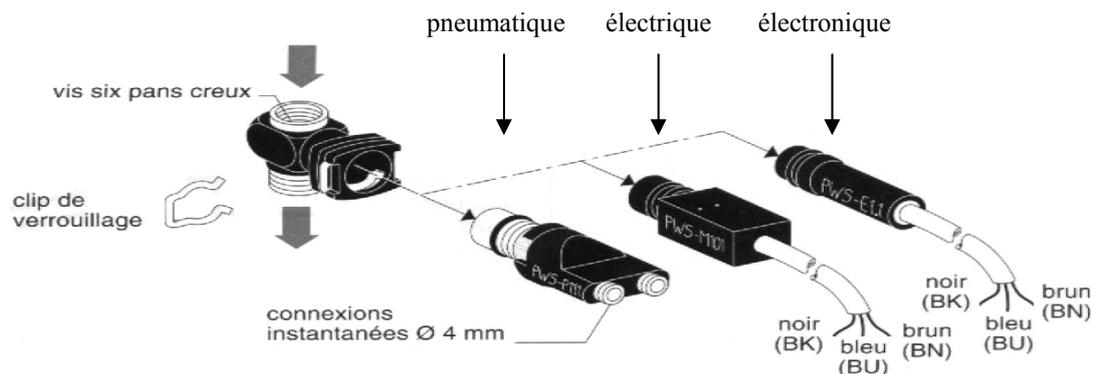


Figure 3.2 : Différents capteurs à seuil de pression

(pour le détail du capteur à sortie pneumatique, se référer au paragraphe IV-1-a-2)

-3-b- Capteurs électriques et électroniques à détection magnétique

Ces capteurs se placent directement sur le fût aimanté du vérin. Un aimant permanent disposé dans le piston crée un champ magnétique. Le piston en se déplaçant ferme le contact électrique ou déclenche le système de détection électronique du capteur.

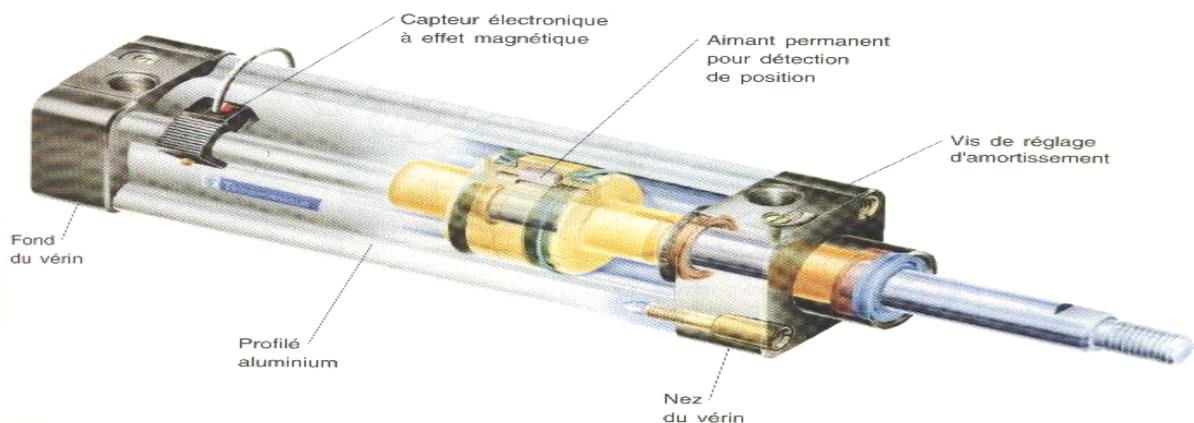


Figure 3.3 : Vérin muni d'un aimant et d'un capteur magnétique

-3-c- Capteurs pneumatiques à action mécanique

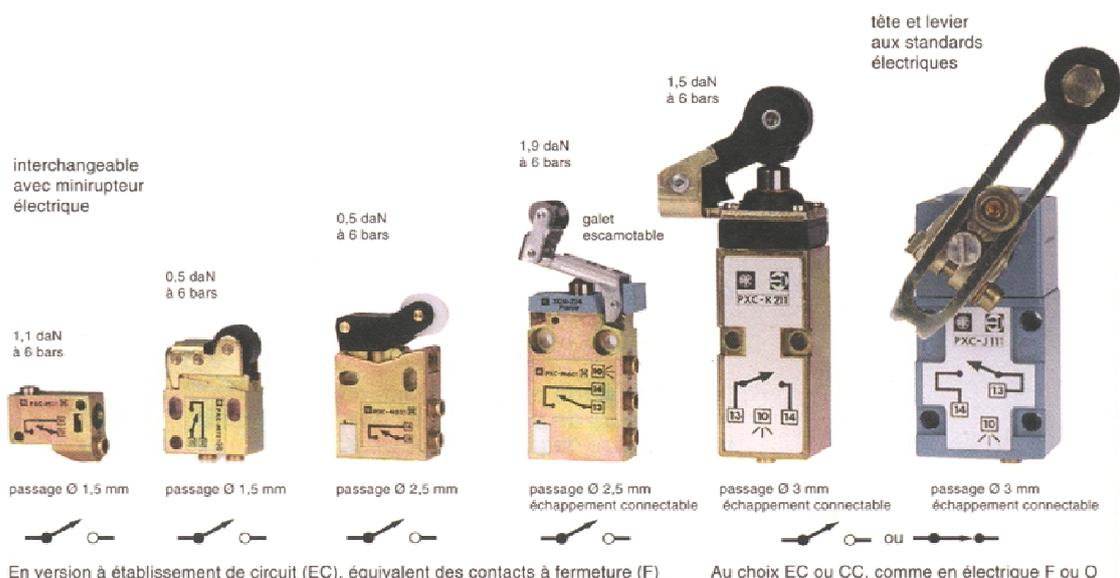


Figure 3.4 : Quelques capteurs pneumatiques à action mécanique

(d'après documentation Parker Pneumatic)

-4-Différents types de vérins

Bien que le vérin à tige et action linéaire soit le plus répandu (normalisé ISO), il existe cependant d'autres types de vérins, qu'ils soient sans tige ou à action rotative.

	Mini-vérins Vis	Mini-vérins ISO 6432	Vérins à tige ISO 6431	Vérins à tige Course courte	Vérins Sans tige	Vérins rotatifs
Technologie Spécificité	-Tige inox -Corps laiton	-Tige et tube inox -Nez et fond plastique ou métal	-Tige inox -Tube profilé aluminium ou -Version à tirants	Profilé aluminium	Profilé aluminium à tige fendue	-Corps aluminium extrudé ; -Extrémités et palette aluminium anodisé dur
Version	Simple effet	Simple et double effet	Double effet	Simple et double effet	Double effet	Double effet
Amortissement	Sans	Elastique ou pneumatique	Pneumatique réglable	Sans	Pneumatique	Elastique
Course standard en mm	5,10,15	De 10 à 200 suivant diamètre	De 25 à 800 suivant diamètre	De 5 à 100 suivant diamètre	De 0 à 8	Angle de rotation : - 0 à 280° simple palette - 0 à 100° double palette
Diamètre en mm (diamètres normalisés : 6, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200)	6, 10, 16	10 à 25	32 à 200	12 à 63	25, 32, 40	Couple en N.m : - 0,5 à 15 en simple palette - 1,5 à 30 en double palette

(d'après documentation Parker Pneumatic)

-5-Exercice d'application

On considère 1 chariot (de masse à vide 110 kg) pouvant transporter des pièces (de masse 70 kg) entre 2 postes de travail distants de 1 mètre. Il est alimenté en pièces par un vérin de transfert simple effet, dont la tige a une longueur de 50 cm et le ressort de rappel une force de 200N. Ses déplacements sont effectués par le biais d'un vérin double effet, dont l'extrémité de la tige (de diamètre 40 mm) est solidaire du chariot.

Questions

Si le taux de charge des vérins est de 0.5, que l'on travaille à une pression de 3.14 bars, et que la cadence de travail des vérins est de un aller/retour toutes les 6 secondes, calculer:

- 1° Les diamètres des pistons des vérins simple effet et double effet.
- 2°-Les forces développées par les deux vérins en sortant et en rentrant.
- 3°) Les volumes d'air consommé par minute pour chaque vérin en sortant et en rentrant.
- 4°) Le volume horaire d'air global consommé par l'installation.

Pression de travail: 3,14 bars	
Diamètre	Consommation
mm	l/cm
40	0,04
65	0,1
70	0,125
80	0,16
100	0,24
120	0,3
125	0,4
140	0,5
150	0,6

(d'après documentation FESTO)

Solution**1° -a- Vérin simple effet**

$$F_{\text{utile}} = 70 \times 10 = 700\text{N}$$

$$F_{\text{théorique}} = F_{\text{ut}}/T = 700/0.5 = 1400\text{N}$$

$$F_{\text{th}} = P \times S - F_{\text{ress}} = P \times \pi \times D^2 / 4 - F_{\text{ress}} \Rightarrow D^2 = 4 (F_{\text{th}} + F_{\text{ress}}) / P \times \pi$$

$$P = 3.14 \text{ bars} = 0.314 \text{ N/mm}^2$$

$$D^2 = 4 \times 1600 \Rightarrow D = 2 \times 40 = 80 \text{ mm.}$$

-b- Vérin double effet

$$F_{\text{ut}} = (110+70) \times 10 = 1800\text{N} \Rightarrow F_{\text{th}} = F_{\text{ut}}/T = 1800/0.5 = 3600\text{N}$$

$$F_{\text{th}} = P \times S = P \times \pi \times D^2 / 4 \Rightarrow D^2 = 4 F_{\text{th}} / P \times \pi = 4 \times 3600 \Rightarrow D = 120 \text{ mm}$$

2° -a- Vérin simple effet

$$\text{en sortant : } F_{\text{th}} = 1400 \text{ N}$$

$$\text{en rentrant : } F_{\text{rent}} = F_{\text{ress}} = 200 \text{ N}$$

-b- Vérin double effet

$$\text{en sortant : } F_{\text{th}} = 3600 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{en rentrant : } F_{\text{rent}} &= P (S - s) = P \times (\pi \times D^2 / 4 - \pi \times d^2 / 4) = P \times \pi / 4 (D^2 - d^2) \\ &= \frac{1}{4} (4 \times 3600 - 1600) = \frac{1}{4} \times 4 (3600 - 400) \\ &= 3200 \text{ N} \end{aligned}$$

3° -a- Vérin simple effet

$$D = 80\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.16 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{sortie}} = C \times L (\text{Course}) = 0.16 \text{ l/cm} \times 50 \text{ cm} = 8 \text{ litres.}$$

$$V_{\text{entrée}} = 0 \text{ car vérin simple effet et retour par ressort de rappel.}$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 8 \text{ l}$$

$$\text{Cadence } 1 \text{ aller/retour en } 6 \text{ secondes} \Rightarrow 10 \text{ allers/retours en } 1 \text{ minute.}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 8 \times 10 = 80 \text{ litres.}$$

-b- Vérin double effet

$$D = 120\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation } C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$\phi_{\text{tige}} = 40\text{mm}, P = 3.14 \text{ bars} \Rightarrow \text{consommation tige } c = 0.04 \text{ l/cm}$$

1^o méthode :

$$V_{\text{sort}} = C \times L = 0.3 \times 100 = 30 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tige}} = c \times L = 0.04 \times 100 = 4 \text{ litres}$$

$$V_{\text{rent}} = V_{\text{sort}} - V_{\text{tige}} = 30 \text{ l} - 4 \text{ l} = 26 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sort}} + V_{\text{rent}} = 30 \text{ l} + 26 \text{ l} = 56 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 56 \times 10 = 560 \text{ litres.}$$

2^o méthode :

$$C_{\text{sort}} = C = 0.3 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{rent}} = C_{\text{sort}} - C_{\text{tige}} = C - c = 0.3 \text{ l/cm} - 0.04 \text{ l/cm} = 0.26 \text{ l/cm}$$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{sort}} + C_{\text{rent}} = 0.56 \text{ l/cm}$$

$$V_{\text{tot}} = C_{\text{tot}} \times L = 0.56 \times 100 = 56 \text{ litres}$$

$$V_{\text{tot/min}} = 56 \times 10 = 560 \text{ litres.}$$

4^o Volume global horaire

$$V_{\text{global/min}} = V_{\text{simple effet}} + V_{\text{double effet}} = 80 + 560 = 640 \text{ litres}$$

$$V_{\text{horaire}} = V_{\text{min}} \times 60 = 640 \times 60 = 38400 \text{ litres} = 38.4 \text{ mètres cubes.}$$

Remarque :

On observe que la consommation horaire est trop élevée. Ceci est dû d'une part aux très grands diamètres des pistons, d'autre part à la cadence de travail très élevée (un aller retour toutes les 6 secondes).

Cette installation nécessite donc une immense centrale de production d'air comprimé uniquement pour 2 vérins. Par conséquent il y a eu de mauvais choix technologiques.

-III-LE DISTRIBUTEUR « PILOTE »

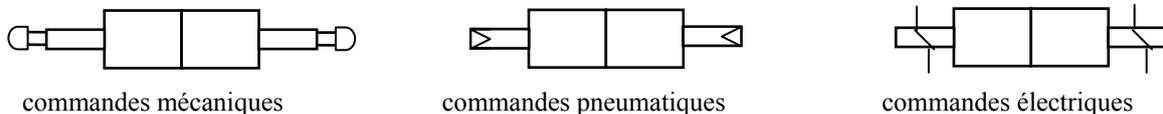
De même que le contacteur est associé au moteur électrique, le distributeur est le préactionneur associé au vérin pneumatique.

Le but d'un distributeur est de mettre en communication divers orifices deux à deux. Ceci peut être réalisé soit par rotation d'un disque distributeur ou d'un boisseau, soit par glissement d'un tiroir, soit par soulèvement d'un clapet. En pratique les distributeurs à tiroir sont les plus répandus : le tiroir piloté par les signaux pneumatiques de commande commute les canaux de pression et d'échappement, alternant ainsi les états des orifices de sortie raccordés au vérin.

-1-Moyens de pilotage ou de commande

Fonctionnellement le distributeur a pour rôle de délivrer un débit d'air comprimé (pour commander un vérin) à la réception d'un signal de commande. La commande se fait soit par pilotage pneumatique, soit par électrovanne recevant le signal électrique de commande, soit par commande manuelle auxiliaire (pour les interventions de mise au point).

Bistable, un distributeur garde sa position (fonction mémoire) en l'absence de signal de pilotage. Monostable, il est rappelé à sa position stable de repos, soit par un ressort de rappel, soit par une pression permanente (retour différentiel).



commandes mécaniques

commandes pneumatiques

commandes électriques

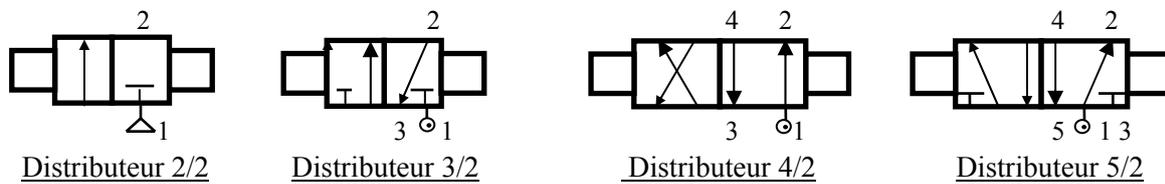
Le module de pilotage peut être intégré ou non au distributeur.

-2-Symboles normalisés :

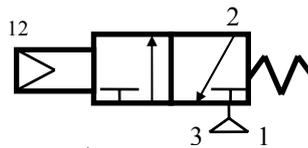
On parle de distributeur 2/2, 3/2, 4/2, 4/3, 5/2. Le premier chiffre correspond au nombre d'orifices et le second au nombre de positions de travail. Il existe un troisième élément qui caractérise un distributeur, c'est le nombre de voies (ou chemins internes) possibles de passage de l'air comprimé. Les numéros des orifices sont normalisés : 1 pour l'arrivée d'air, pairs (2 et 4) pour les sorties de commande, impairs (3 et 5) pour les sorties d'échappement.

Dans la représentation, le nombre de rectangles (ou de carrés) correspond au nombre de positions de travail du distributeur. Les orifices d'admission et d'échappement, ainsi que *les numéros des orifices, sont représentés sur le rectangle correspondant à la position de repos.*

Pour l'admission d'air, on utilise soit un triangle, soit un cercle avec un point au centre (le cercle est noir dans le cas de l'énergie hydraulique). Pour l'échappement on utilise un triangle.



Ce chiffre 12 indique que la commande met en communication les orifices 1 et 2



Distributeur 3/2 à commande pneumatique et retour par ressort de rappel

Généralement le distributeur 3/2 est utilisé pour la commande des vérins simple effet, et les distributeurs 4/2 et 5/2 pour les vérins double effet. Un étrangleur réglable par une vis est généralement disposé sur l'échappement pour régler le débit (et donc la vitesse du vérin).

-3-Electrodistributeurs

Si la commande est électrique on parle d'électrodistributeur (le courant pouvant être continu ou alternatif).

-3-a- Distributeur 3/2

Il est le plus souvent monostable, il possède donc un seul état stable qui est la position de repos. Il est alors commandé par une bobine E et un ressort de rappel, et il faut maintenir la commande sinon le tiroir revient automatiquement à la position de repos sous l'effet du ressort.

Quand la bobine est alimentée, l'électrovanne s'ouvre pour laisser passer l'air comprimé, mettant ainsi en communication les orifices 1 et 2 (d'où le chiffre 12 à côté de la bobine) d'admission et de commande. L'orifice 2 étant relié à l'entrée d'un vérin, ce dernier est alors commandé. Quand l'alimentation de la bobine est coupée, l'électrovanne se ferme (coupant l'admission d'air), le ressort de rappel rappelle le clapet (cf figure a), mettant en communication les orifices 2 et 3, permettant ainsi à l'air (emmagasiné dans le vérin) de s'échapper par l'orifice 3.

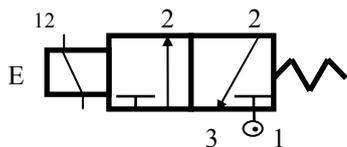
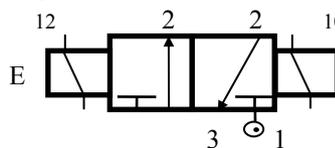


Figure a : monostable

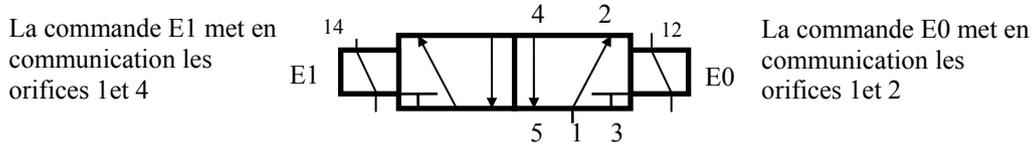


Ce chiffre 10 indique que la commande coupe la liaison entre les orifices 1 et 2 (utilisé également sur le distributeur 2/2)

Figure b : bistable

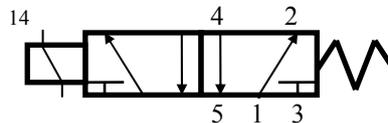
-3-b- Distributeur 5/2 : bistable

Il possède deux états stables correspondant aux deux positions de travail. Il est commandé par deux bobines E0 et E1, il a donc un fonctionnement à double pilotage. Même une impulsion sur E0 ou E1 suffit à le faire changer d'état.



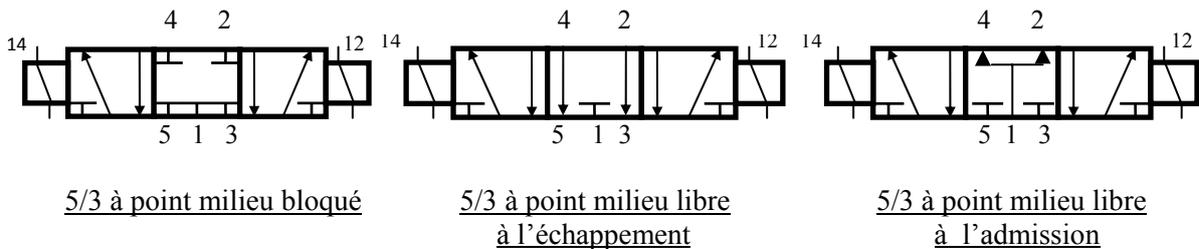
-3-c- Distributeur 5/2 : monostable

Il possède un seul état stable qui correspond à la position de repos. Les commandes s'effectuent (comme pour le 3/2) par une bobine et un ressort de rappel.



-3-d- Distributeur 5/3 monostable

La seule position stable est la position médiane : en l'absence de commande, deux ressorts de centrage (gauche et droit) ramènent le tiroir en position centrale. On parle soit de 5/3 à *point milieu bloqué* (entrée et sorties du distributeur bloquées), soit de 5/3 à *point milieu libre* (entrée bloquée et sorties reliées soit à l'échappement soit à l'admission). Ainsi en l'absence de commande sur le distributeur, le vérin commandé sera soit bloqué soit libre.



Remarque

Un cas intéressant est de faire en sorte que toutes les positions du vérin soient des états stables. Pour l'obtenir on rajoute des *bloqueurs* (cf paragraphe III-4) sur les orifices des vérins pour figer l'état du matériel dès que la commande (E0 ou E1) du distributeur disparaît. Dès qu'elle réapparaît, le fonctionnement continue exactement de l'endroit où il s'est arrêté (utilisation en sécurité sur les asservissements, pour éviter le retour brusque à des positions de repos en cas de coupure des alimentations).

-3-e- Module d'interface électropneumatique

Chez certains constructeurs, la commande du distributeur est souvent autonome et indépendante du distributeur proprement dit. On utilise une interface modulaire à commande électrique (électrovanne) qu'on peut monter sur embase, dont la sortie pneumatique commande le distributeur. Ces modules d'interface offrent l'avantage, dans le cas des faibles puissances, de pouvoir commander directement un mini-vérin sans avoir recours à un distributeur. On rencontre des modules 3/2 à une sortie (monostable), et des modules à 2 sorties en 4/2 et 5/2 (monostable et bistable).

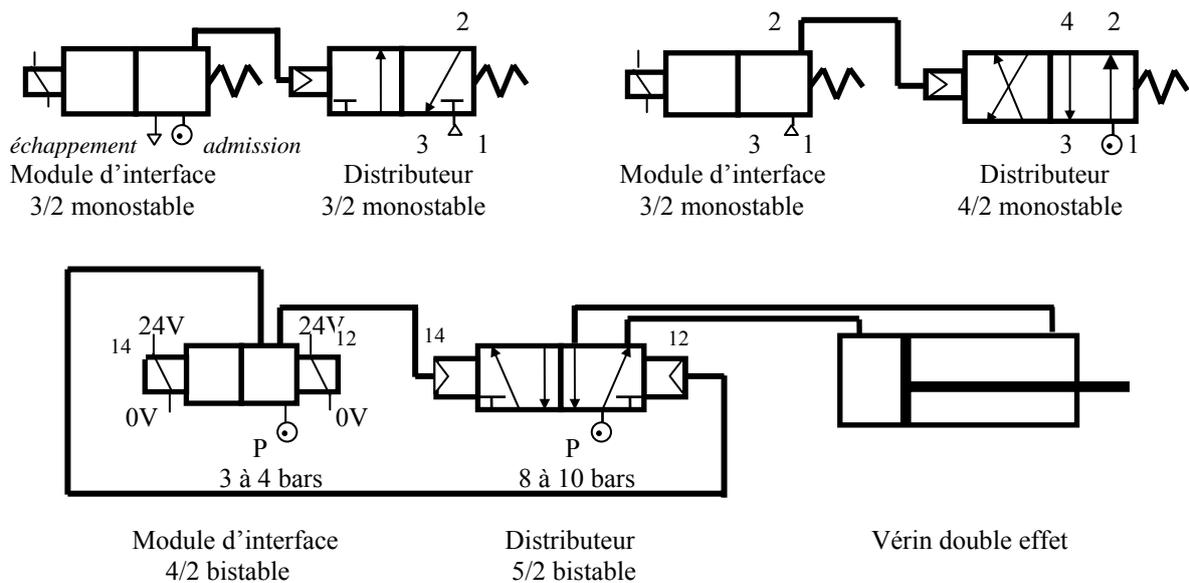


Figure 3.5-a : Connexions des modules d'interfaces aux distributeurs

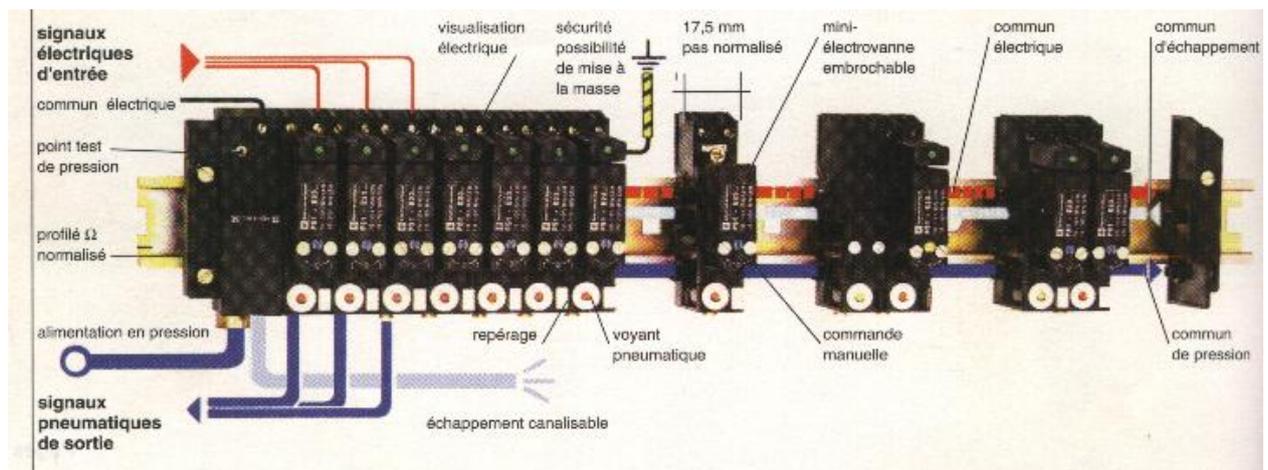


Figure 3.5-b : Interconnexion de modules d'interfaces montés sur rack

-4-Auxiliaires de distribution

Sur le circuit de puissance, entre distributeur et vérin, des auxiliaires (cf. figure 3.6) sont généralement nécessaires pour permettre :

- le réglage de la vitesse du vérin dans chacun des sens de déplacement,
- l'intégration de fonctions de sécurité, par blocage du vérin ou par purge de ses pressions d'air.

Pour toutes ces fonctions, l'implantation au plus près du vérin est la plus efficace. C'est pourquoi les auxiliaires sont prévus pour s'implanter, en général, directement sur les orifices de raccordement du vérin, en lieu et place des raccords qu'ils intègrent.

-4-a- Le régleur de vitesse

La tige du vérin pneumatique A se déplace dans le sens A+ sous l'action de la différence des pressions entre chambres amont (admission d'air) et aval (échappement d'air). La vitesse du mouvement A+ est déterminée par la vitesse de purge de l'air contenu dans la chambre aval.

Le régleur de vitesse laisse passer l'air à plein débit dans le sens admission, le clapet anti-retour étant ouvert. Il régule le débit d'air, et donc la vitesse du mouvement du vérin, dans le sens d'échappement (le clapet anti-retour est fermé) grâce à la restriction réglable.

La restriction réglable est généralement réalisée par une vis pointeau verticale (ou plus rarement par une bague de réglage à rampe annulaire). L'anti-retour est assuré soit par une jupe en élastomère soit par une bille.

Afin que le vérin ne « broute » pas et que la vitesse de déplacement soit constante, il est préférable que le régleur de vitesse soit au plus près du vérin.

-4-b- Le bloqueur 2/2

Particulièrement indiqués pour arrêter les vérins en cours de mouvement ou pour les maintenir en position, les bloqueurs 2/2 assurent un blocage efficace dès que le signal de pilotage (air comprimé) disparaît.

Deux bloqueurs (un sur chaque orifice du vérin) stoppent les débits d'air d'admission et d'échappement, immobilisant ainsi la tige du vérin et sa charge, par mesure de sécurité.

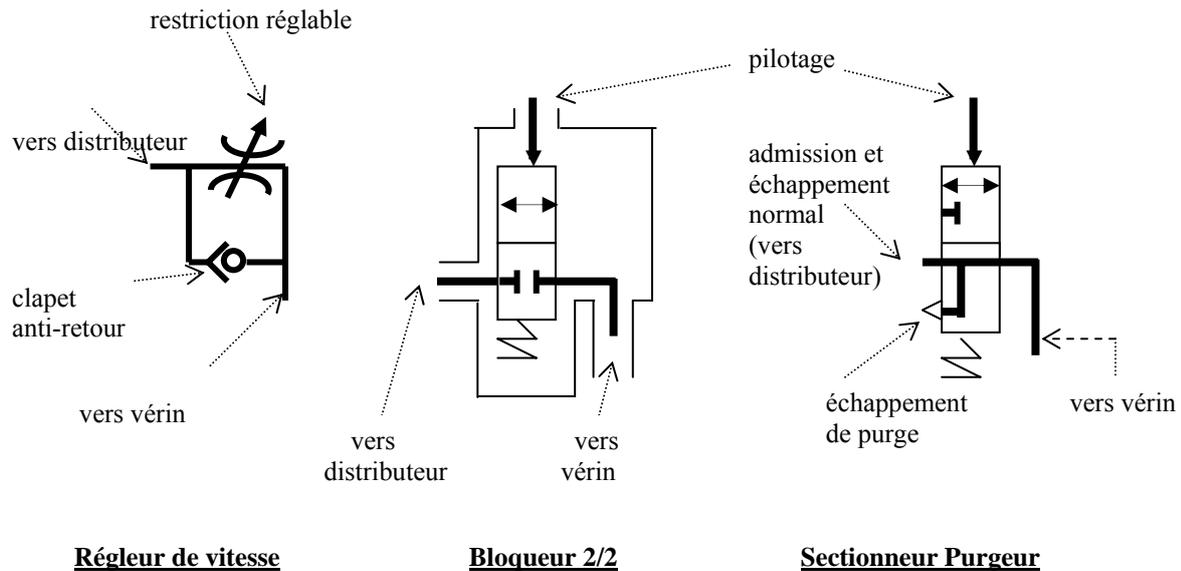


Figure 3.6 : Schémas symboliques de quelques auxiliaires de distribution

-4-c- Le sectionneur-purgeur

Le sectionneur général d'une installation peut ne pas suffire pour arrêter certains mouvements, la purge se trouvant ralentie par la restriction réglable du régleur de vitesse. Placé entre l'orifice du vérin et le régleur de vitesse, le sectionneur purgeur vide localement et rapidement la chambre du vérin. Il doit être commandé par le même signal (pneumatique) que le sectionneur général.

-4-d- Les multifonctions intégrées

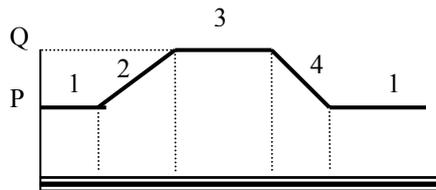
L'utilisation de bloqueurs ou de sectionneurs-purgeurs, pour répondre aux besoins de sécurité, ne dispense pas du besoin de réglage précis de la vitesse du vérin.

Les auxiliaires de distribution multifonctions répondent à cette nécessité. Ils sont conçus sous forme d'ensembles compacts et efficaces, sans augmenter l'encombrement, à monter directement sur les orifices taraudés des vérins. Ils assurent les doubles fonctions régleur de vitesse et bloqueur, ou régleur de vitesse et sectionneur-purgeur.

-5-Exemple d'application (pour le dessin et la schématisation, on utilisera un distributeur à clapet)

Un vérin commandé par un électrodistributeur doit effectuer un aller-retour complet (extrémités des fins de course P et Q) décomposé en cinq phases, selon le diagramme donné par la figure. Dans chacun des 4 cas exposés au paragraphe III-3 du chapitre 3 (distributeur monostable 3/2, bistable 5/2, monostable 5/2, monostable 5/3), donner le diagramme des phases, c'est à dire donner dans chaque cas les signaux de commande nécessaires sur les bobines (A0, A1), B, C, (D1, D2) pour réaliser dans l'ordre les 5 phases du dessin intitulées 1, 2, 3, 4, 1.

Diagramme des phases



Principe

Cas a

*Vérin double effet.

*Distributeur 5/2 bistable à 4 voies, à double pilotage, commandé par 2 bobines A0 et A1.

*Même une impulsion sur A1 provoque le changement d'état du distributeur, et l'enchaînement des étapes 2 et 3.

*Une simple impulsion sur A0 provoque le retour du vérin aux conditions initiales (passage par les phases 4 puis 1).

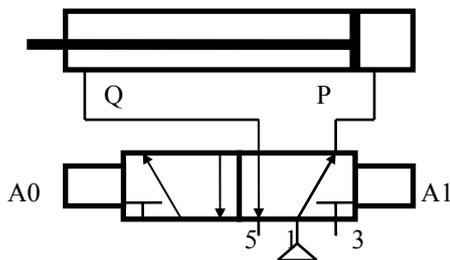
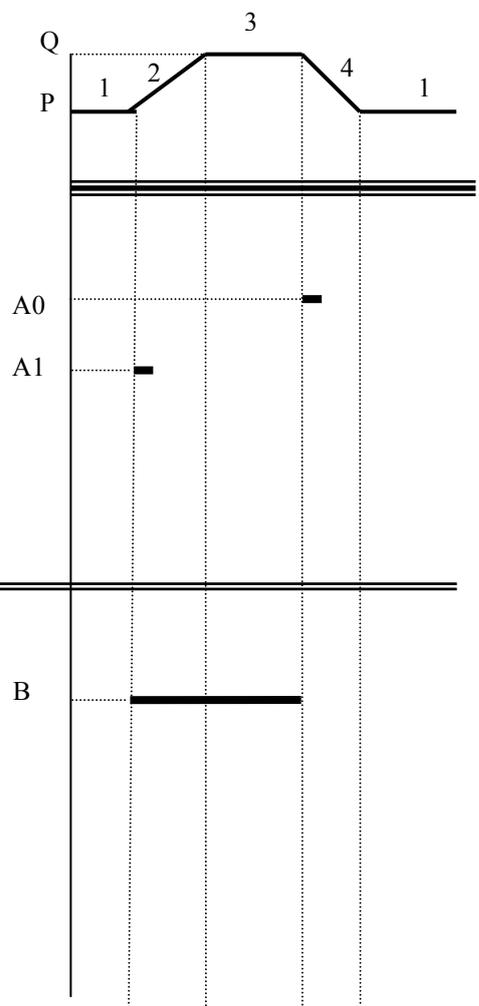


Diagramme des phases

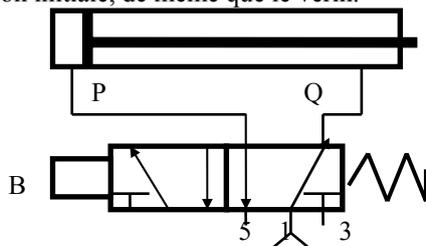


Cas b

*Vérin double effet.

*Distributeur 5/2 monostable à 4 voies, commandé par une bobine B et un ressort de rappel.

*Pour le déplacement du vérin, le maintien de B est nécessaire. Dès la suppression de B, le tiroir du distributeur revient à sa position initiale, de même que le vérin.



Principe

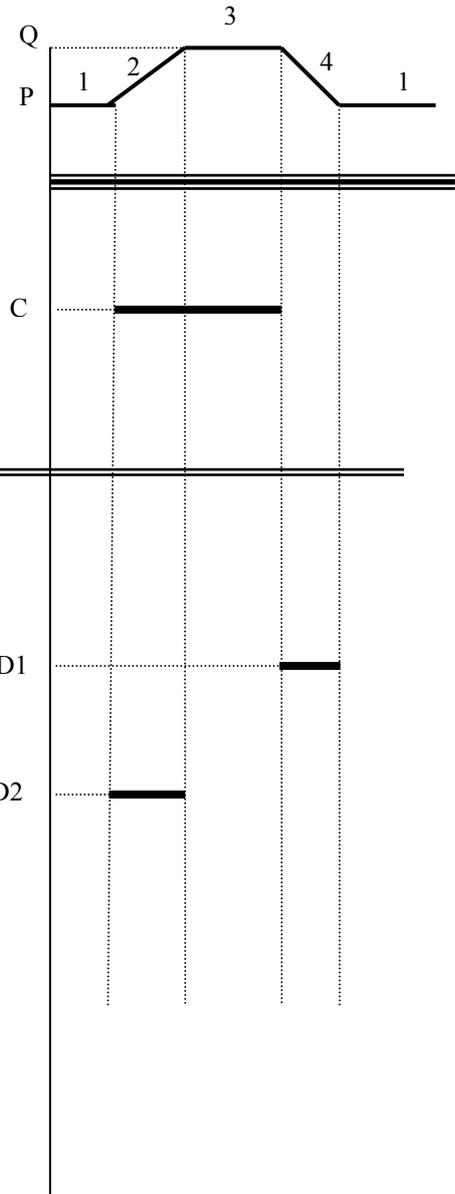
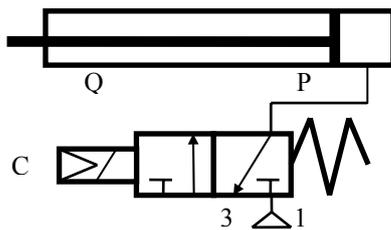
Diagramme des phases

Cas c

*Vérin simple effet et ressort de rappel.

*Distributeur 3/2, 2voies, commandé par une bobine C et un ressort de rappel.

*Même principe de fonctionnement que dans le cas b.



Cas d

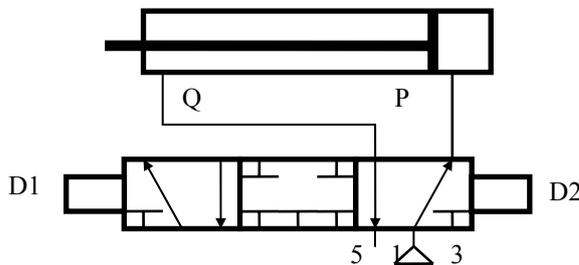
*Vérin double effet.

*Distributeur 5/3 monostable, 4 voies, avec **point milieu bloqué**; commandé par 2 bobines et deux ressorts de centrage.

*Dès la disparition du signal de commande, le tiroir du distributeur revient à la position médiane stable, et le vérin commandé reste figé dans la position à laquelle il est arrivé.

*Le maintien de la commande des bobines pour les phases 3 et 1 est inutile car le point milieu est bloqué.

*On aurait obtenu exactement le même résultat en remplaçant ce distributeur 5/3 par 2 distributeurs 3/2 monostables, et en rajoutant deux bloqueurs sur le vérin.



-IV- LES INTERFACES

On entend par interfaces les composants reliant les parties commande et opérative : soit la partie commande à l'actionneur, soit le capteur à la partie commande. Les préactionneurs, les coupleurs d'entrées/sorties, les modules d'entrées/sorties analogiques etc., font donc partie des interfaces.

Les interfaces de puissance ou préactionneurs (déjà cités dans le paragraphe I) qui peuvent être considérés comme une catégorie à part entière, s'insèrent naturellement entre l'interface de sortie et l'actionneur.

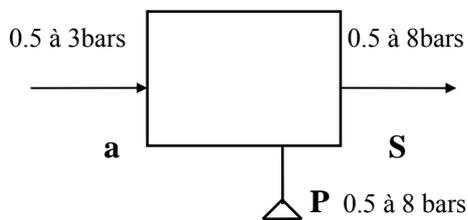
Les interfaces remplissent l'une des fonctions suivantes : conversion, adaptation, isolement. On les classera en deux catégories : celles qui modifient les paramètres d'un signal, et celles qui modifient la nature d'un signal.

-1-Interfaces modifiant les paramètres d'un signal

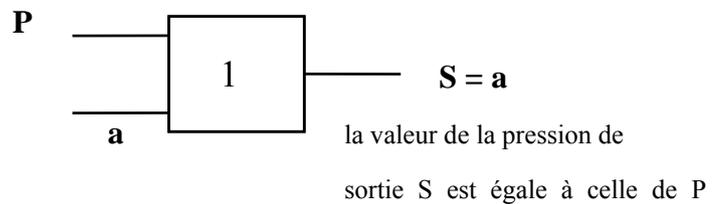
-1-a-Pneumatiques

-1-a-1-Cellule OUI

Synoptique



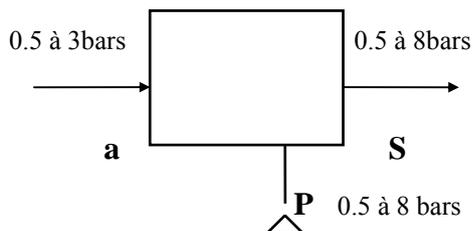
Symbole



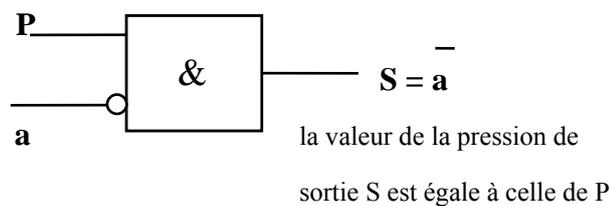
Suivant la valeur de P, la cellule peut être destinée à augmenter ou à réduire la pression d'un signal. Elle est surtout utilisée pour garantir une pression suffisante aux pilotes des préactionneurs (distributeurs).

-1-a-2-Cellule NON

Synoptique

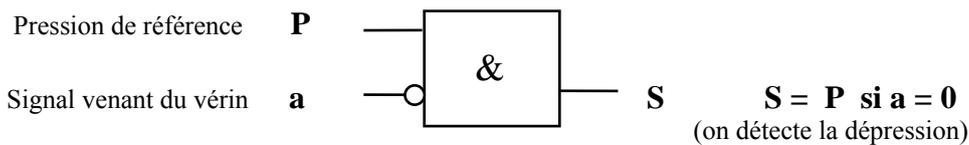


Symbole



Cette cellule est également appelée cellule inhibition, car on peut l'utiliser pour inhiber une entrée. Si on remplace la pression P par un signal b, la sortie correspondra alors à l'inhibition de l'entrée b par le signal a ($S = \bar{a} b$)

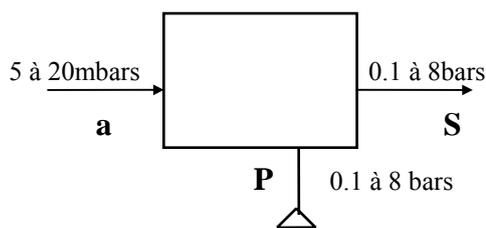
Montée sur un vérin, cette cellule est souvent utilisée comme capteur fin de course : elle détecte la chute de pression dans la chambre d'échappement quand le piston arrivant à l'extrémité a chassé tout l'air de la chambre. On l'appelle alors capteur à seuil de pression à sortie pneumatique.



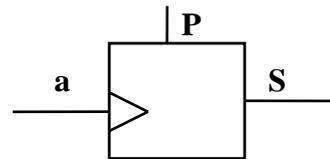
-1-a-3-Relais amplificateur

Il permet de transformer un signal de très basse pression en un signal de pression industrielle.

Synoptique



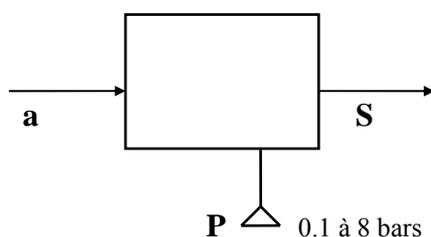
Symbole



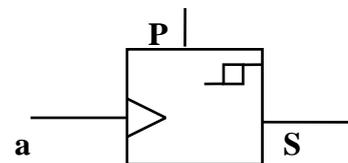
-1-a-4-Relais manostatique et vacuostatique

* Manostat ou pressostat

Synoptique



Symbole



P_2 : pression de pré-réglage du mini-détendeur du manostat

Si $a < P_2 \rightarrow S = 0$

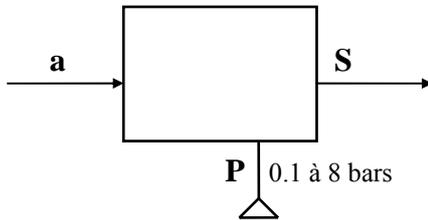
Si $a \geq P_2 \rightarrow S = P$

(Exemple d'utilisation : détection de serrage de pièces).

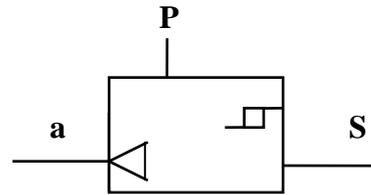
* Vacusostat

Détecte le seuil de vide pré réglé sur l'appareil, et autorise un signal de sortie.

Synoptique



Symbole



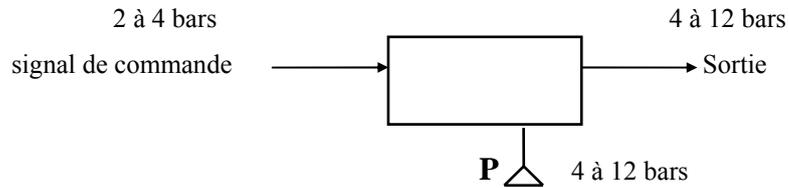
P_2 : pression de pré réglage du minidétendeur du manostat

Si $a > P_2 \rightarrow S = 0$

Si $a \leq P_2 \rightarrow S = P$

-1-a-5-Distributeur piloté (voir son étude au paragraphe III)

Dès qu'il reçoit un signal de commande la sortie S devient égale à P.



-1-b- Interfaces électriques

-1-b-1-Transformateurs

Leur utilisation principale est la transformation d'une tension alternative en courant alternatif.

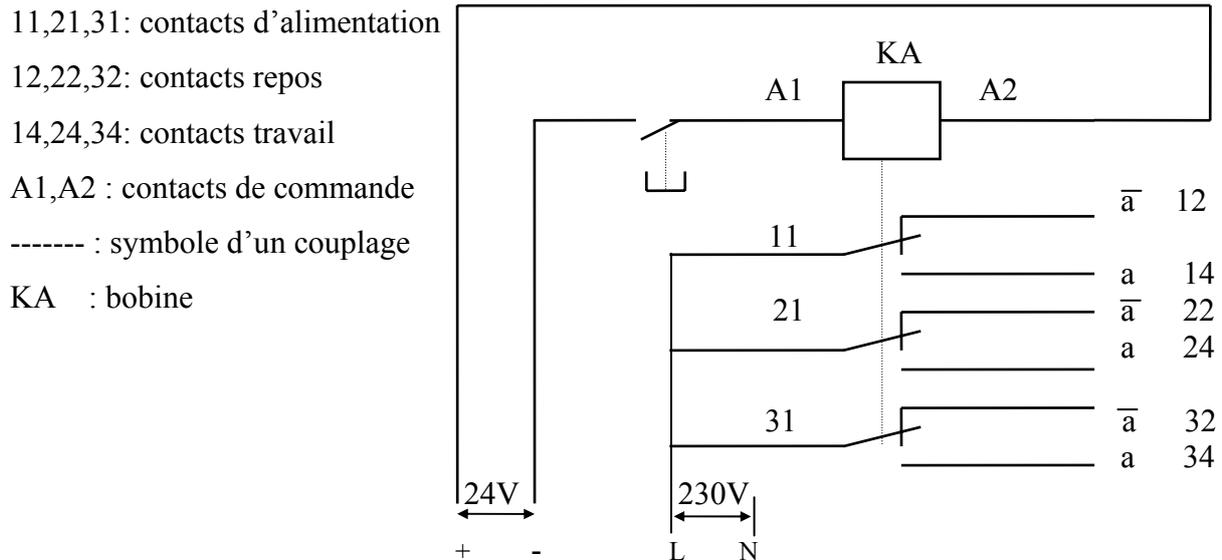


La puissance apparente s'exprime en VA (voltampères).

Remarque : dès qu'un transformateur est alimenté, il se comporte comme une résistance de faible valeur. Il est donc normal qu'il chauffe (même s'il travaille à vide).

-1-b-2-Les relais électromagnétiques• Relais instantané (RHN) ou mémoire monostable**Description

C'est un composant capable d'amplifier un signal, de l'inverser, ou de le mémoriser en câblant un circuit d'automatisme.



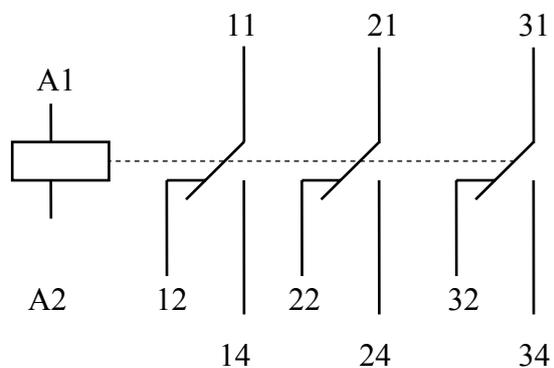
En général la tension de commande des bobines et la tension d'utilisation (sorties) sont différentes (de l'ordre de 24 V et 230 V respectivement).

**Principe de fonctionnement

Le passage du courant de commande dans la bobine (KA) crée, avec le noyau, un champ magnétique qui attire l'armature mobile qui vient s'appuyer contre le contact travail tant que la bobine est commandée. Si la bobine n'est plus alimentée, l'armature mobile est ramenée contre le contact repos grâce à un ressort.

Symbole :

11, 21, 31 : contacts d'alimentation
 12, 22, 32 : contacts repos
 14, 24, 34 : contacts travail
 A1, A2 : contacts de commande



****Caractéristiques**

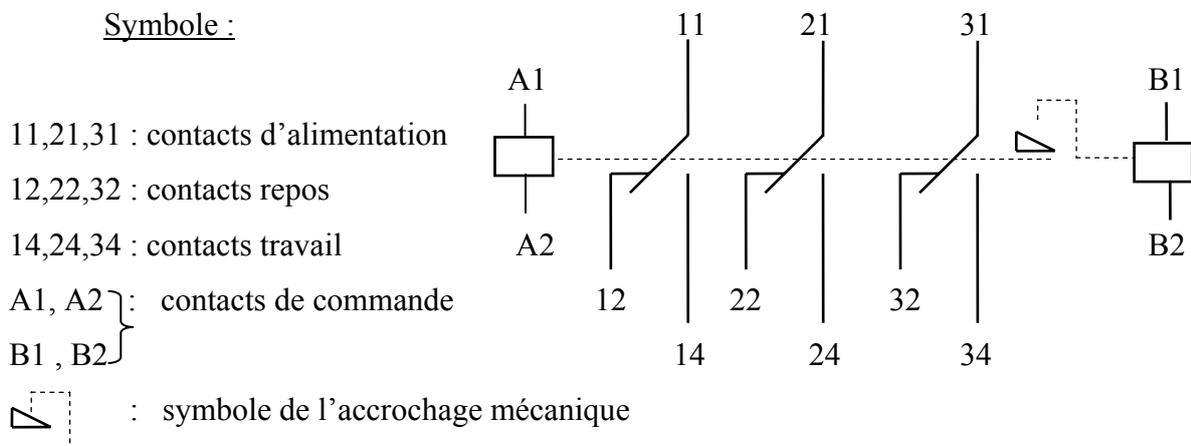
- Liées au circuit de commande (alimentation bobine) :
 - courant du circuit de commande : alternatif ou continu,
 - tensions d'alimentation : 24, 48, 110, 230 volts (6 et 12 volts pour les platines électroniques),
 - consommation moyenne : de 2.5 à 4.5 VA en alternatif, 1.6 VA en continu.
- Liées au circuit de puissance :
 - tension et intensité maximales en courant alternatif : 250 V, 5 A,
 - nombre de contacts : variable, par exemple 4 « FO » càd 4 contacts à fermeture (ouverts au repos) et 4 contacts à ouverture (fermés au repos).
- Liées au fonctionnement : (données par les abaques du constructeur)
 - cadence maximale : en nombre de manoeuvres (travail-repos) par seconde (10 par exemple),
 - endurance mécanique : en millions de manoeuvres (20 millions par exemple). Elle dépend de la tension et du courant.

- Relais électromagnétique à accrochage ou mémoire bistable (RHK)

C'est un relais instantané à deux états stables, commandé par deux bobines : l'une pour l'enclenchement (A) et l'autre pour le déclenchement (B).

Leur mémoire est assurée par un accrochage mécanique ou magnétique, donc même si on supprime le signal de commande de la bobine, le relais « reste accroché » et ne change pas d'état. Par conséquent une simple impulsion suffit à le faire changer d'état.

Symbole :

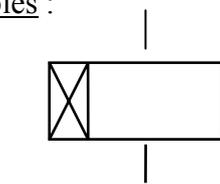


- Relais temporisés et relais clignotant

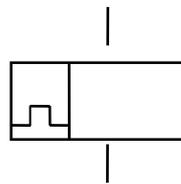
Les relais temporisés ont le même principe de fonctionnement qu'un relais instantané, mais leur action est différée dans le temps. Leur symbole est donc le même excepté pour la bobine qui comporte une information supplémentaire. On rencontre le relais temporisé au travail (RHT) et le relais temporisé au repos (RHR). La durée de la temporisation T varie de 0.1 à 300 s ou de 1 à 40 mn.

Le relais clignotant (RHC) change d'état (une fois qu'il est commandé) suivant une fréquence réglable. Le temps de réaction du relais varie de 2 à 40 ms, quant à sa période elle varie de 0.5 à 5 s, ou de 2 à 30 s.

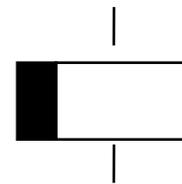
Symboles :



Relais temporisé
au travail (RHT)



Relais clignotant
RHC



Relais temporisé
au repos (RHR)

- Contacteur

C'est un préactionneur principalement destiné à la commande des moteurs.

Il est constitué d'un relais monostable (ou bistable) dit de puissance, car pouvant supporter de forts courants (utilisation courante : commande des machines asynchrones en triphasé).

Le principe de fonctionnement est le même que celui du relais : quand la bobine est alimentée, elle ferme les contacts de puissance (destinés à l'alimentation de l'actionneur) et les contacts auxiliaires (destinés à la partie commande de l'actionneur).

Le circuit de commande (alimentation bobines) est généralement alimenté en 24 V, et le circuit de puissance en 230, 400 ou 700 Volts.

On ajoute généralement avant et après le contacteur une protection des circuits commandés. Avant lui on utilise soit des fusibles coupe-circuit soit un relais magnétique (disjoncteur) pour la protection contre les court circuits. Après lui on utilise généralement un relais thermique pour la protection contre les surcharges faibles et prolongées. Pour protéger également contre les surcharges fortes on préfère parfois utiliser un relais magnétothermique.

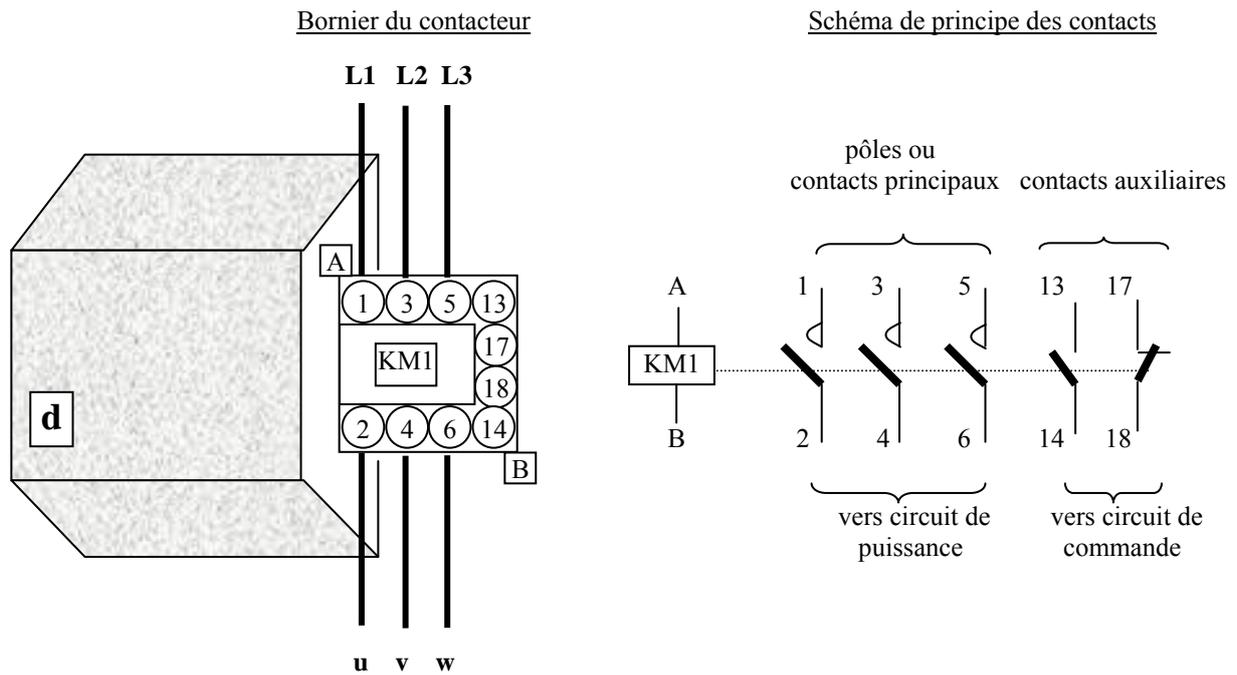


Figure 3.7 : Câblage d'un contacteur série D (doc. Telemecanique)

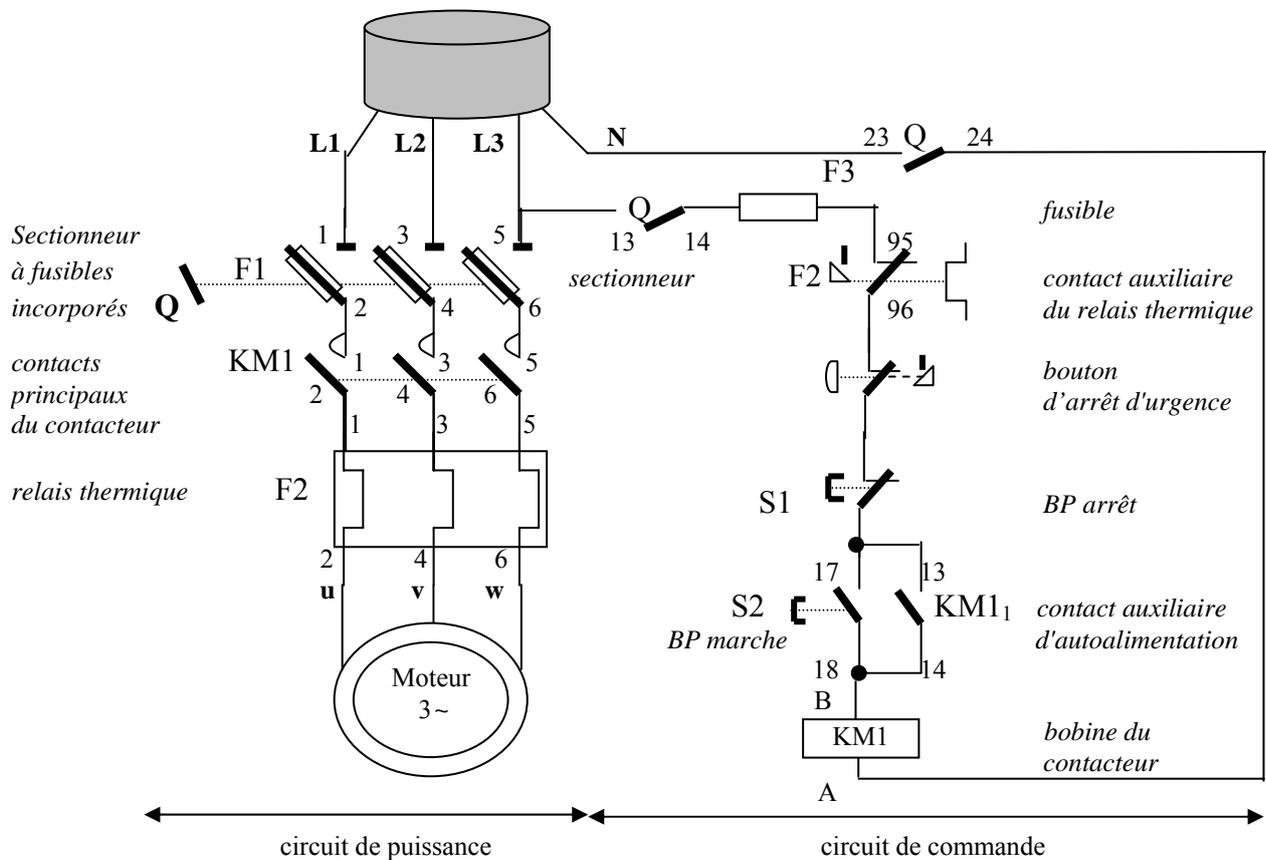


Figure 3.8 : Schéma de commande d'un moteur (à démarrage direct)

-1-c- Interfaces électroniques

-1-c-1-Découpleur optoélectronique

Il est utilisé en interface d'isolation galvanique (découplage) aussi bien en entrée qu'en sortie, pour isoler la partie commande de la partie opérative.

Il protège contre les perturbations électromagnétiques, les effets de rebondissement des contacts, les défaillances de câblage (courants de fuite, mauvaise mise à la terre, etc...).

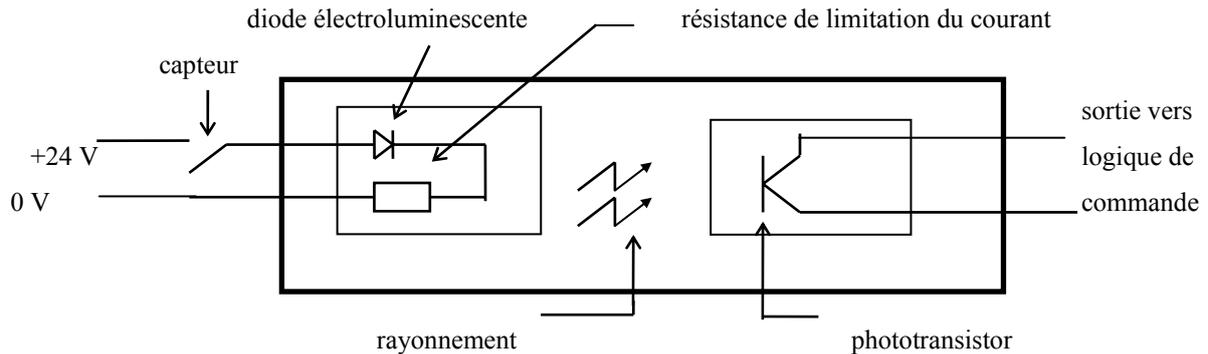


Figure 3.9 : Schéma de principe d'un optocoupleur et utilisation en interface d'entrée

-1-c-2-Les convertisseurs

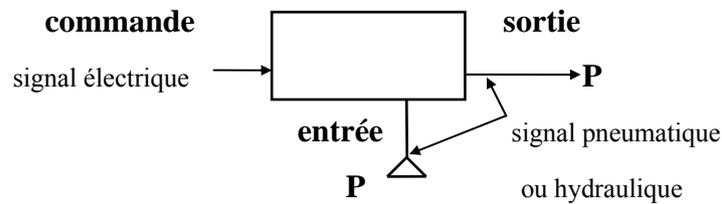
Ils sont principalement utilisés en électronique de puissance.

- Redresseur : courant alternatif \sim \longrightarrow courant continu =
- Gradateur : courant \sim sinusoïdal \longrightarrow courant \sim de forme quelconque
- Hacheur : courant = à faible ondulation \longrightarrow courant = à tension variable
- Onduleur : courant continu = \longrightarrow courant alternatif \sim

-2-Interfaces modifiant la nature d'un signal

-2-a- Les électrovannes

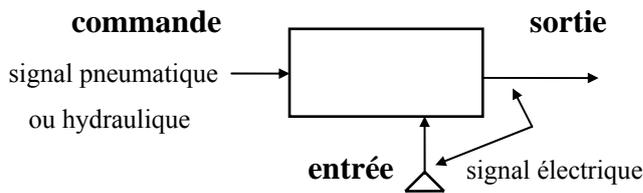
Synoptique



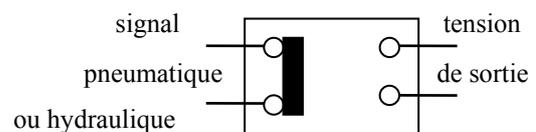
A la réception du signal de commande, le fluide en entrée se retrouve en sortie. Le signal électrique de commande est en 230, 110, 48 ou 24 volts.

-2-b- Les contacts à pression

Synoptique

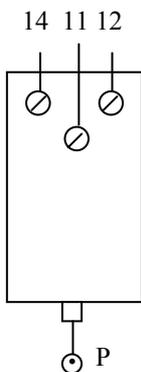


Symbole



Le signal de commande agit sur la membrane qui déplace le clapet et le rend solidaire des contacts, fermant ainsi le circuit électrique et provoquant l'apparition d'une tension en sortie.

Exemple : Contact à pression de Parker Pneumatic

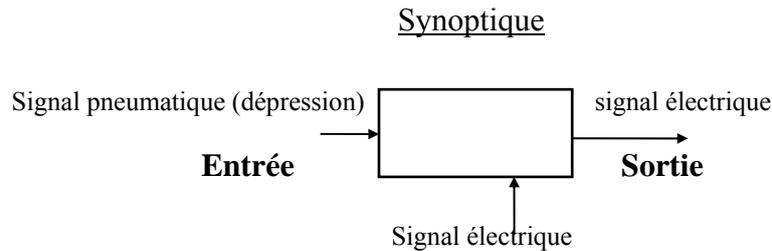


Il fonctionne comme un relais à trois lames dont la commande est pneumatique. La tension (généralement le +24V) qui est appliquée sur la borne 11 se retrouve à l'état de repos sur la borne 12 (contact repos). Quand une pression P est appliquée, les bornes 11 et 14 sont reliées et la tension se retrouve sur la sortie 14 (contact travail).

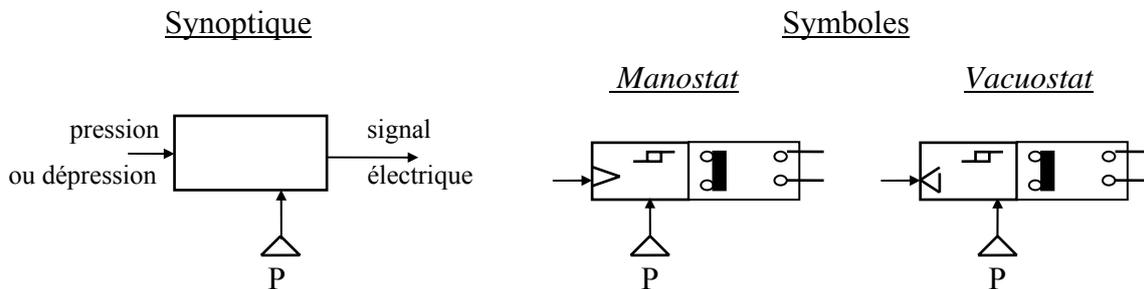
-2-c- Les capteurs à seuil de pression à sortie électrique

Le principe est le même que celui des contacts à pression, sauf que le signal de commande pneumatique n'est plus une pression mais une dépression (comme pour la cellule NON du paragraphe IV-1-a). On l'utilise monté sur un vérin comme capteur fin de course à sortie électrique.

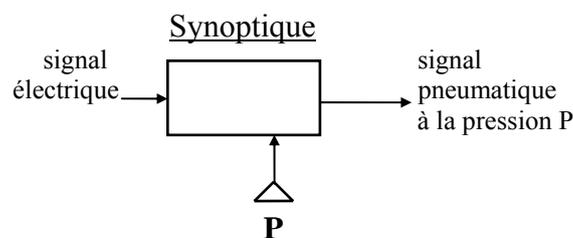
Si on remplace les simples contacts de sortie par un transistor PNP, on parle alors de capteur à seuil de pression électronique.

-2-d- Manostat et vacuostat à sortie électrique

Ils sont constitués par l'association d'un manostat (ou d'un vacuostat) et d'un contact à pression (cf figure 3.2 page 46).

-2-e- Les électrodistributeurs

Ils ont déjà fait l'objet du paragraphe III-3. Le signal électrique commande la bobine d'électroaimant d'une électrovanne, ce qui a pour effet de déplacer un clapet ou un tiroir et laisser ainsi passer l'air comprimé qui se retrouve en sortie.



-V-LA FONCTION MEMOIRE EN LOGIQUE CABLEE

-1-Généralités

Quelle que soit la technologie (pneumatique, électrique ou électronique), la fonction mémoire est matérialisée par deux entrées complémentaires X_1 (pour mise à un) et X_0 (pour mise à zéro), et par une ou deux sorties complémentaires.

En logique câblée, la mémoire correspond le plus souvent à un préactionneur.

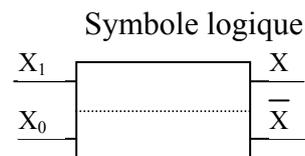
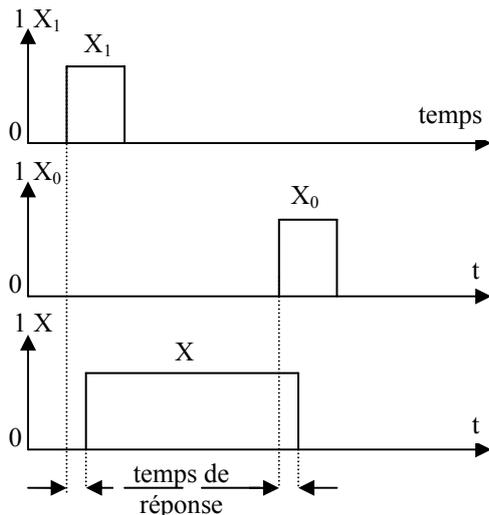


Table de vérité

X_1	X_0	X	\bar{X}
0	0	0	1
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	1

Figure 3.10 : Temps de réponse d’1 mémoire

Remarques

La valeur du temps de réponse impose la durée minimale du signal de commande.

Si les deux entrées de la mémoire sont à un simultanément, la valeur de la sortie dépend de la technologie de fabrication de la mémoire: égale à 1 logique pour une mémoire à marche prioritaire et à zéro pour celle à arrêt prioritaire.

-2-Mémoire monostable

Elle se caractérise par le fait qu’elle a une seule entrée de commande. De plus le signal de commande doit être permanent; dès qu’il disparaît, un dispositif ramène la mémoire en position initiale.

-a- Pneumatique

Elle est réalisée par un distributeur monostable 3/2, ou 4/2, ou 5/2, ayant une seule commande et un retour par ressort de rappel.

Le schéma pneumatique de câblage permet de mettre en évidence la valeur importante des temps de réponse, qui sont de l’ordre de la seconde.

-b- Electrique

Elle est réalisée par un relais électromagnétique monostable, qu'il soit simple (relais instantané ou temporisé) ou intégré dans un contacteur.

-3-Mémoire bistable

Les deux signaux de commande peuvent être une simple impulsion. Cela suffit pour faire changer d'état au préactionneur.

-a- Pneumatique

On utilise un distributeur à double pilotage, donc à double commande. Les deux états du distributeur sont des états stables.

-b- Electrique

On utilise un relais électromagnétique à accrochage. Il possède donc deux bobines : l'une pour l'enclenchement et l'autre pour le déclenchement. Ce relais peut être simple ou monté sur embase pour réaliser un module d'étape de séquenceur (voir chapitre 4-IV).

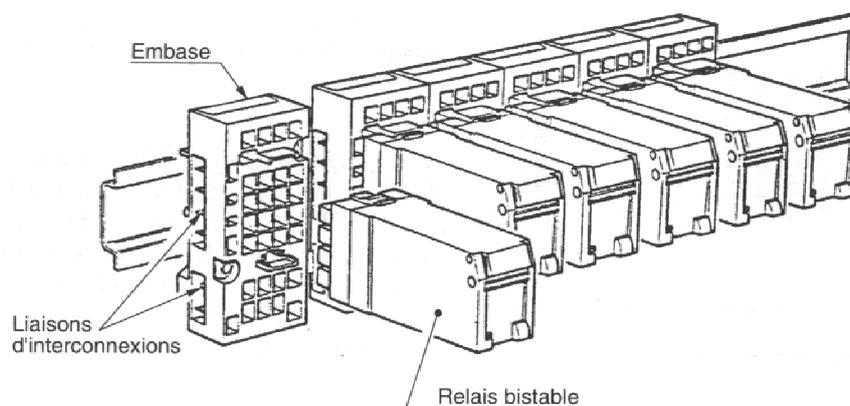


Figure 3.11 : Relais électriques montés sur embase

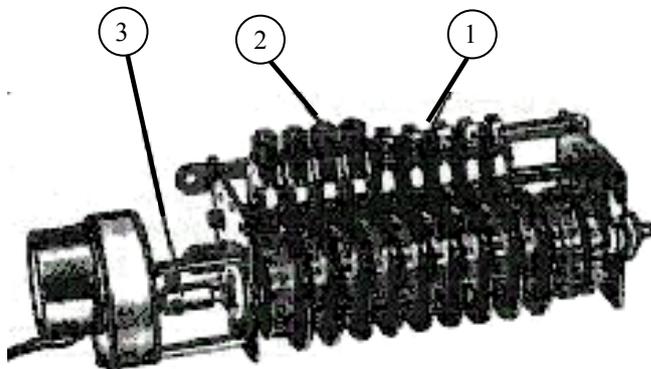
-c- Electronique

On utilise le plus souvent une bascule RS (reset, set) en circuit intégré.

-VI-LE PROGRAMMATEUR CYCLIQUE A CAMES

La machine à laver (le linge ou la vaisselle) et le distributeur de boissons sont des exemples types de systèmes automatisés, qui possèdent un programmeur cyclique à cames, comme composant principal de la partie commande.

Comme son nom l'indique, un programmeur cyclique est un dispositif programmé pour effectuer un certain travail durant un cycle de fonctionnement, ce programme pouvant changer d'un cycle à un autre. Il a pour rôle d'actionner, *au cours d'un cycle*, une série de contacts de sorties (ouverture électrovanne de remplissage de la cuve d'eau, ou commande de la résistance de chauffage par exemple) dans un ordre déterminé (notion de programme) en fonction du temps (durée de lavage) ou en fonction d'informations (cuve pleine, température atteinte).

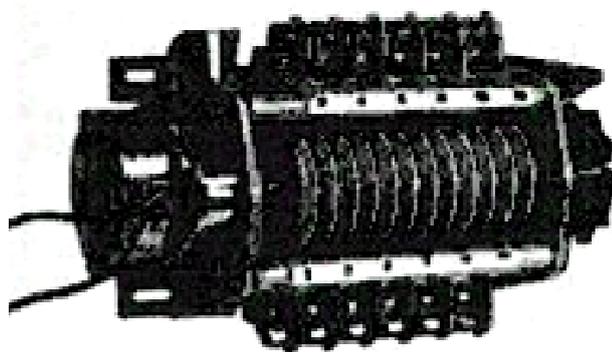


programmeur à cames
à minivannes pneumatiques et minirupteurs

- ① minirupteurs
- ② minivannes pneumatiques
- ③ accouplements rigides



programmeur avec bouton de réglage sur pupitre



Programmeur à cames fond d'armoire

Figure 3.12 : Différents programmeurs (doc.Crouzet)

-1-Principe

Un programmeur cyclique est constitué :

- d'un dispositif d'entraînement : motoréducteur,
- d'un support d'information : cames,
- d'éléments de sortie : minirupteurs ou minivannes.

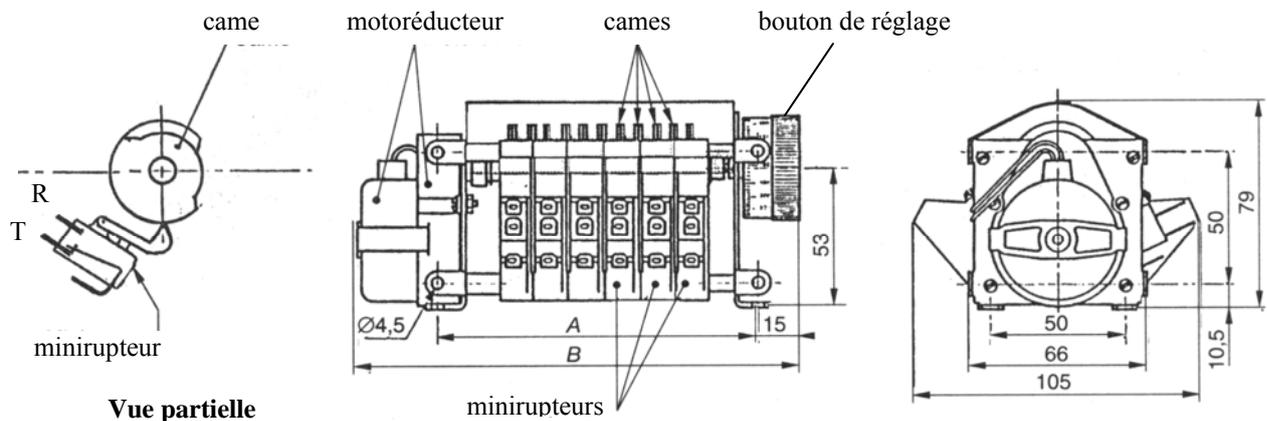


Figure 3.13 : Schéma d'un programmeur à bouton de réglage en façade (doc.Crouzet)

Un motoréducteur est l'association d'un moteur électrique et d'un réducteur. Ce dernier est constitué d'un ensemble d'engrenages (roues dentées) pour obtenir une réduction de la vitesse de rotation. La première roue est fixée sur l'axe du moteur, et sur la dernière roue est fixé un accouplement rigide permettant d'entraîner les cames à la vitesse désirée. Si par exemple on veut utiliser un programmeur avec un cycle de 20s (les cames font un tour en 20s), et que l'on dispose d'un moteur qui tourne à une vitesse de 3000tpm (soit un tour en 20ms), il faut définir le nombre de dents et de roues du réducteur pour obtenir un coefficient de réduction total de l'ordre de 1000.

Le programme est représenté par un diagramme linéaire. Celui-ci reproduit le profil développé théorique de chaque came en fonction de son contact repos ou travail, et de sa position en degrés. Un cycle correspond à un tour de came donc à 360 degrés.

Si par exemple la durée du cycle est de 1 mn pour 360 degrés, une encoche de 30 degrés représente un temps de $(1 \times 60s \times 30^\circ) / 360^\circ = 5$ secondes.

Inversement si l'on veut un temps de 17 secondes, il faudra une encoche (pour le contact repos R) ou une bosse (pour le contact travail T) de : $(360^\circ \times 17s) / 60s = 102^\circ$.

Certains minirupteurs ont un point intermédiaire, pour lequel aucun circuit n'est fermé.

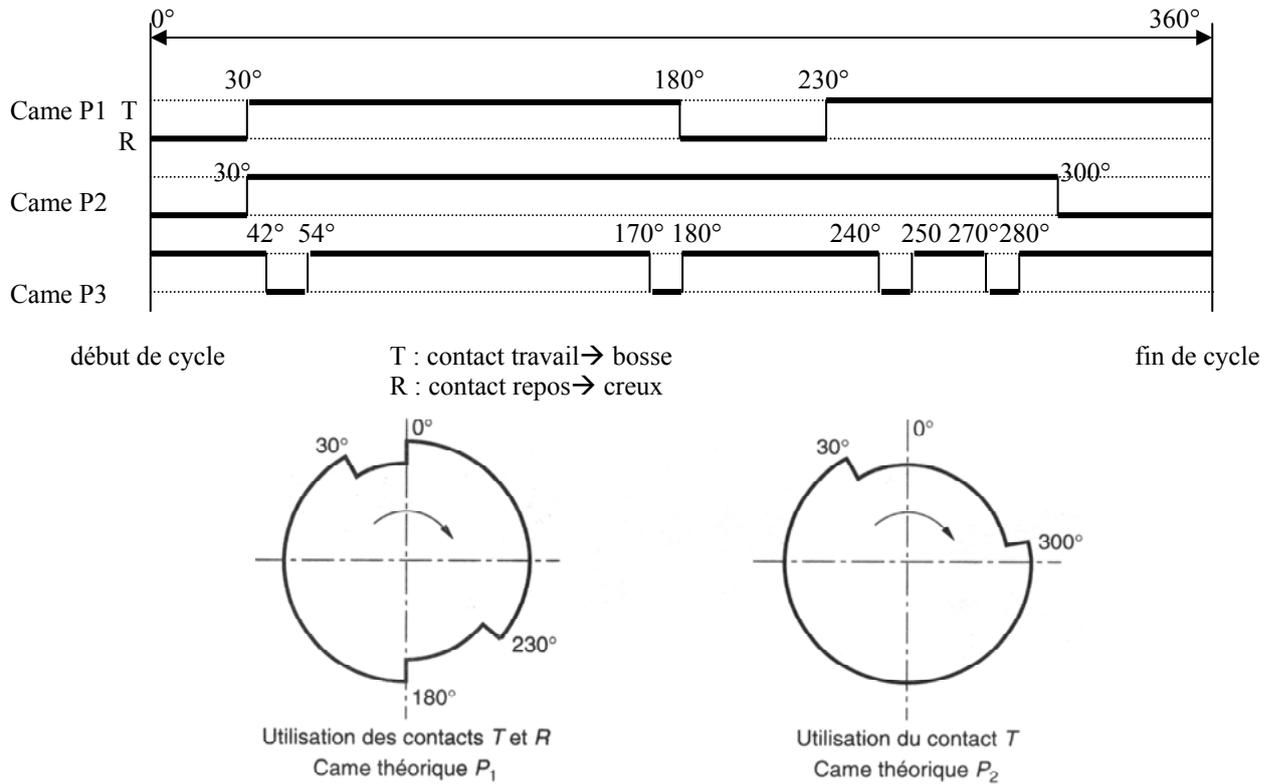


Figure 3.14 – Exemple de programmeur cyclique : programme linéaire et schémas théoriques des cames

-2- Caractéristiques d'un programmeur cyclique

- durées de cycle standards : de 2 secondes à 30 heures ;
- nombre de circuits de commande : de 1 à 44 circuits ;
- supports d'information : cames réglables taillées ou à taquets (cf. figure 3.15);
- sens de rotation : un ou deux sens de rotation ;
- nombre de moteurs : un ou deux ;
- nombre de vitesses : une ou deux ;
- bouton de réglage : en façade du pupitre ou en fond d'armoire.

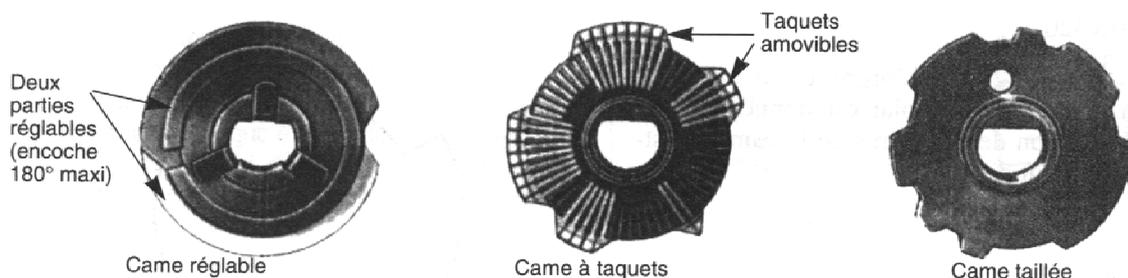


Figure 3.15 : différents types de cames (doc.Crouzet)

-3- Exemple

La figure 3.16 donne le diagramme incomplet du programmeur cyclique d'un distributeur de boissons chaudes. En fonction de ce diagramme :

Questions

- 1-Calculer le temps total de mixage eau + chocolat (came n°8).
- 2-A partir du démarrage du programmeur, calculer au bout de combien de temps sera distribuée la poudre de chocolat (came n°7).
- 3-Donner la forme théorique de la came n°7.
- 4-On donne la came théorique n°6 correspondant à l'eau pour café expresso, retrouver son tracé et ses temps sur le diagramme linéaire.

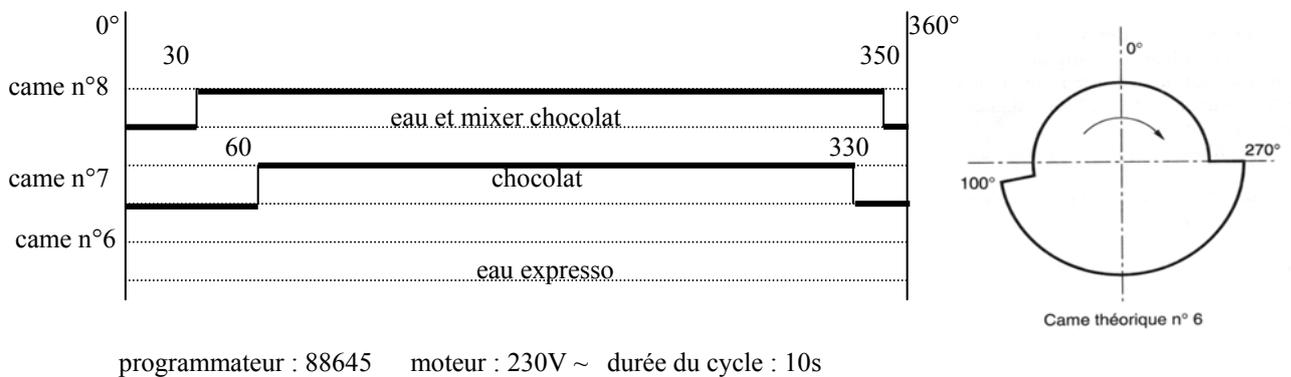


Figure 3.16 : doc Crouzet

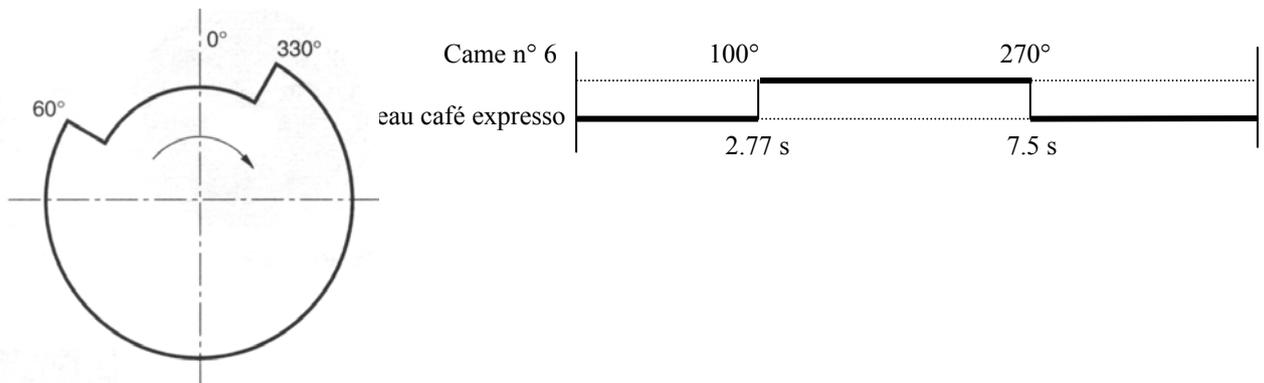
Réponses

1° Le temps de mixage eau + chocolat correspond au contact travail T activé pendant une rotation de 320° . Sachant que les comes font un tour complet en 10 secondes, la came 8 tourne de 320° en $(10 \times 320) / 360 = 8.88s$.

2° L'ordre de distribution de la poudre de chocolat est donné au bout d'une rotation de 60 degrés de la came n°7, c'est à dire au bout de : $(10 \times 60) / 320 = 1.66s$.

3° Came théorique n°7

4° Programme linéaire de la came n°6



CHAPITRE 4 : COMMANDE EN LOGIQUE CABLEE

-I-SYNTHESE DE LA PARTIE COMMANDE

Généralités et exemple	76
-1- Technologie pneumatique	77
-2- Technologie électrique	78
-3- Technologie électronique	80

-II- MATERIALISATION DE GRAFCET PAR DES SEQUENCEURS

-1- Correspondance grafcet-logigramme	82
-2- Cas des divergences et convergences	85
-a-Aiguillage	
-b-Séquences simultanées	

-III- LE SEQUENCEUR ELECTRONIQUE A BASCULES

-1- Grafcet linéaire ou à séquence unique	87
-2- Grafcets à séquences multiples	89
-3- Conclusions	92

-IV- LE SEQUENCEUR ELECTRIQUE

-1-Exemple et schéma de principe du module d'étape	93
-2-Représentation et disposition des E/S chez Télémécanique	94
-3-Séquenceur ou association de modules d'étapes	96
-4-Schéma de câblage électrique	96
-5-Réalisation de fonctions logiques dans le câblage de grafcet	99

-V- LE SEQUENCEUR PNEUMATIQUE

-1-Généralités	104
-2-Comparaison des techniques développées	105
-3-Mise en cascade des modules	106
-4-Câblage de grafcets à séquences multiples	108

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- F.Degoulange & al « Automatismes », classes de première et terminale E,F,BT- formation permanente, édit Dunod, Paris 1983.
- 2- J.Perrin & al «Automatique industrielle », édit Dunod, Paris 1982.
- 3- Y.Lecourtier & B.Saint-Jean « Introduction aux automatismes industriels », édit Masson 1989.
- 4- M.Pinot & al « Du grafcet au automates programmables », édit.Foucher, Paris 1986.

-I-SYNTHESE DE LA PARTIE COMMANDE

Effectuer la synthèse d'un automatisme, c'est passer du cahier des charges (généralement grâce au grafcet de niveau 2) au schéma de la partie commande. En logique câblée deux approches sont utilisées en fonction de la complexité du système automatisé et de la nature du matériel utilisé.

Dans la première on écrit d'abord les équations des sorties en utilisant les techniques classiques de la logique combinatoire (table de vérité, règles de Morgan, table de Karnaugh, etc...), puis on matérialise ces équations à l'aide de fonctions logiques dans la technologie utilisée. C'est cette technique qui sera développée dans ce paragraphe.

La deuxième est une méthode de synthèse directe basée sur le grafcet de niveau 2 et l'utilisation d'un séquenceur : on associe à chaque étape une fonction mémoire. La matérialisation du grafcet correspond donc à la réalisation pratique de l'automate, dans la technologie choisie (pneumatique, électrique ou électronique). Cette technique de matérialisation et de câblage automatiques sera développée au paragraphe II et utilisée dans les suivants.

Pour illustrer les différents modes de traitement de l'information en fonction de la technologie, on s'appuiera sur un exemple simple.

Exemple d'application

Un poste de montage comprend 3 magasins: le magasin V contient des vis, le magasin R des rondelles, le magasin E des écrous. L'opérateur dispose de 3 boutons poussoirs a, b, c:

- *- s'il appuie sur a, il obtient une vis;
- *- s'il appuie sur b, il obtient une vis et une rondelle;
- *- s'il appuie sur c, il obtient une vis, une rondelle et un écrou;
- *- toutes les autres combinaisons entraînent l'obtention d'une vis.

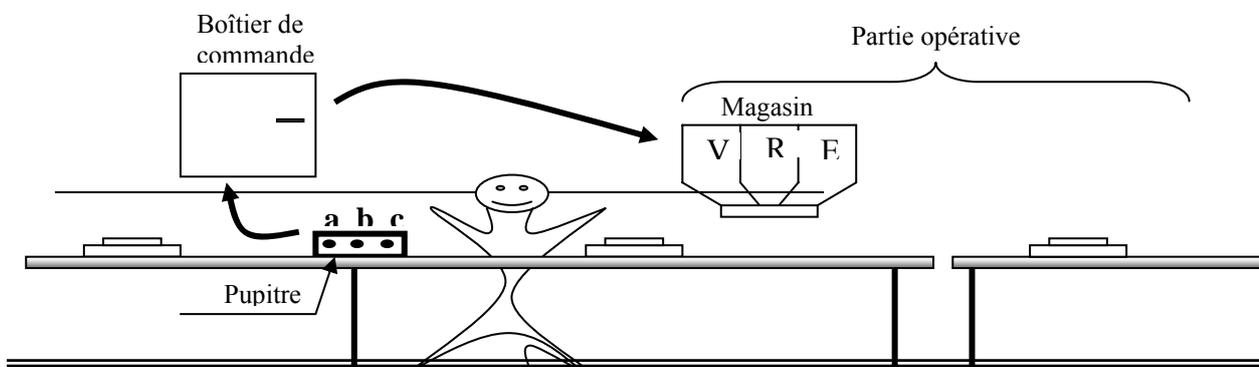


Figure 4.1 : Schéma synoptique de l'installation

Table de vérité

Equations des sorties

a	b	c	V	R	E
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0
0	0	1	1	1	1
1	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0

Cette table permet de déterminer les équations logiques des sorties :

(Vis) $V = a + b + c$

(Rondelle) $R = \bar{a} b \bar{c} + \bar{a} \bar{b} c$

(Ecroû) $E = \bar{a} \bar{b} c$

Partie opérative

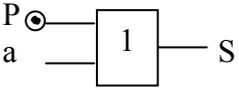
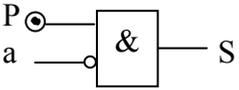
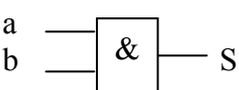
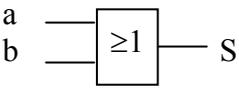
Trappes	V	R	E
Préactionneurs	M1	M2	M3
Actionneurs	C1	C2	C3

Remarque

On observe que dans les équations des sorties, les variables d'entrée apparaissent plusieurs fois. Par conséquent dans la partie commande d'un système automatisé on doit souvent multiplier les signaux qui sont issus des capteurs, qu'ils soient associés à la partie opérative ou à l'opérateur (pupitre). En technologie pneumatique cette condition est assurée par des piquages sur la conduite d'air comprimé dans le boîtier de commande. En technologie électrique la solution est l'utilisation de relais avec leurs multiples contacts.

-1-Technologie pneumatique

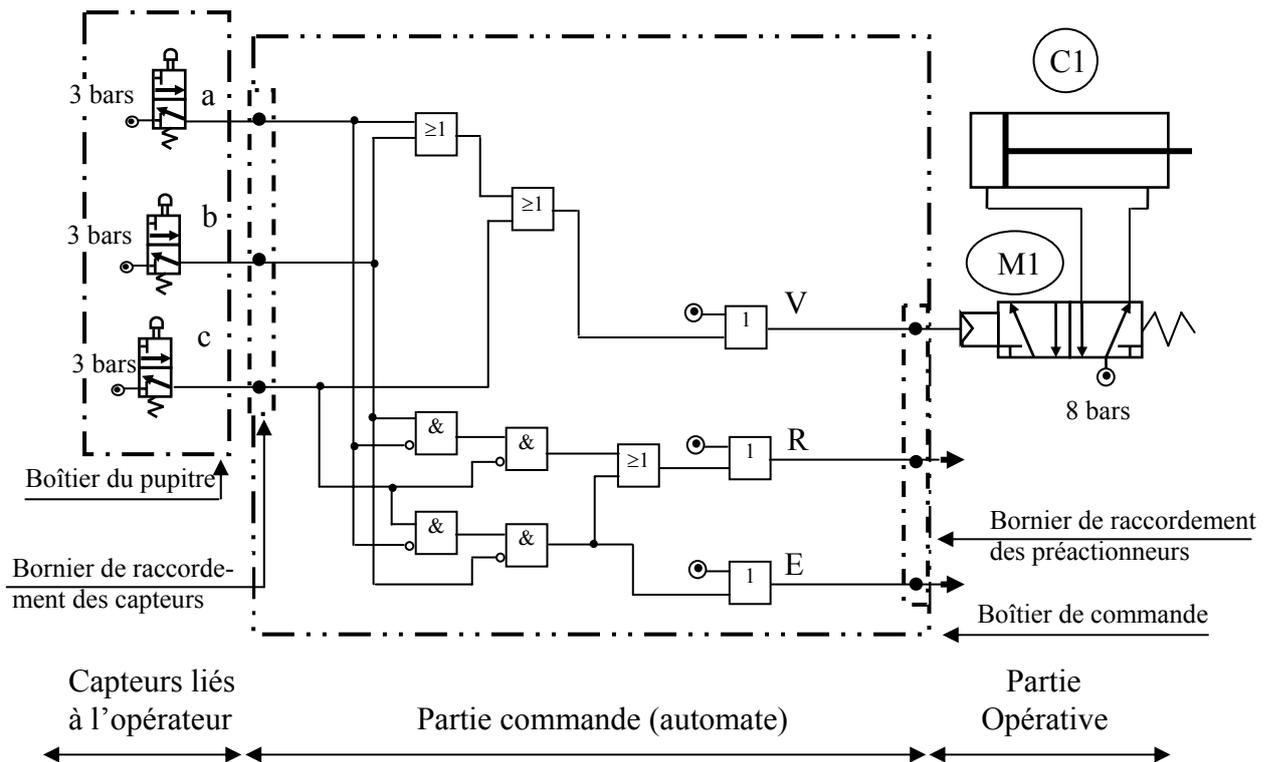
En technologie pneumatique le traitement de l'information se fait à base de modules appelés cellules. Elles sont au nombre de quatre : les cellules OUI, NON, ET et OU (cf. paragraphe IV chapitre 3).

Nom	Symbole	Sortie
OUI		$S = a$
NON		$S = \bar{a}$
ET		$S = a . b$
OU		$S = a + b$

Application à l'exemple

- Partie pupitre : pour les boutons poussoirs ou capteurs liés à l'opérateur, on utilise des distributeurs 3/2 à commande manuelle et ressort de rappel.
- Partie opérative : les actionneurs sont des vérins double effet, et les préactionneurs des distributeurs 5/2 avec ressort de rappel.
- Partie commande : l'automate est réalisé à l'aide de cellules : 4 cellules NON (inhibition), 3 cellules OU, 3 cellules OUI.

Figure 4.2 : Schéma de câblage de l'automate en technologie pneumatique

-2-Technologie électrique

Cette technologie est basée sur les contacts électriques. Les fonctions OUI et NON sont assurées respectivement par des contacts ouvert ou fermé au repos. Les fonctions ET et OU sont réalisées par une mise en série ou en parallèle des contacts.

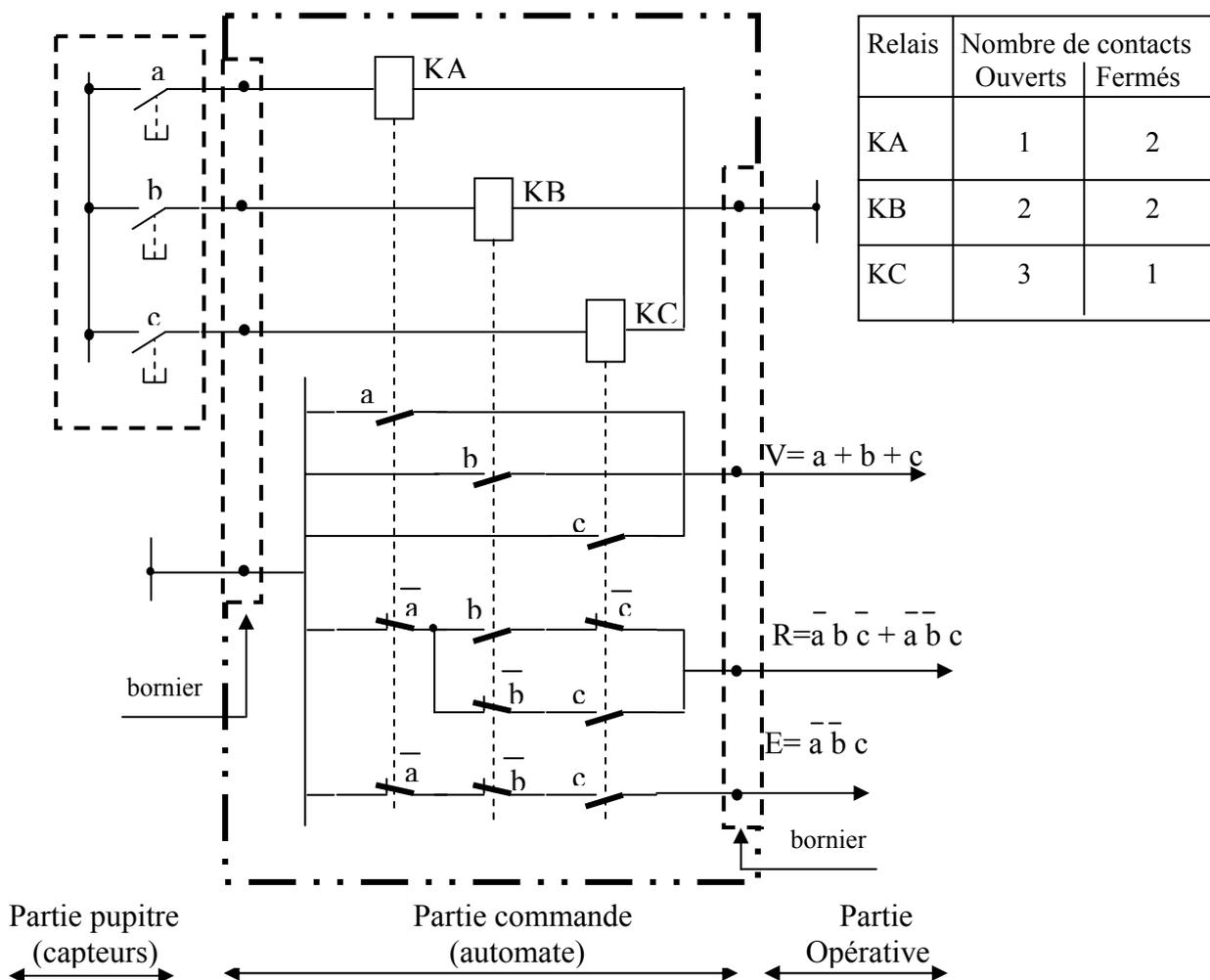
Nom	Symbole	Sortie
OUI		$L = a$
NON		$L = \bar{a}$

Nom	Symbole	Sortie
ET		$L = a \cdot b$
OU		$L = a + b$

Application à l'exemple

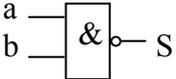
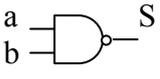
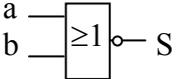
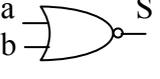
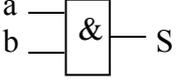
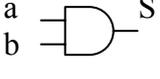
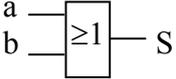
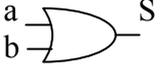
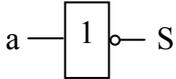
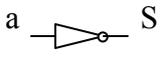
- Partie pupitre : pour les capteurs liés à l'opérateur, on utilise des boutons poussoirs électriques à contacts ouverts au repos.
- Partie opérative : les actionneurs sont des électro-aimants qui assurent directement l'ouverture des trappes.
- Partie commande : l'automate est réalisé à l'aide de relais instantanés, possédant chacun 4 contacts, et dont les bobines seront notées KA, KB et KC.

Figure 4.3 : Schéma de câblage de l'automate en technologie électrique



-3-Technologie électronique

En électronique les signaux sont traités par deux fonctions de base ET, OU, et par trois fonctions dérivées PAS, NOR, NAND. Le module de base est le transistor ou la porte logique en circuit intégré.

Nom	Symbole		Sortie
	Européen	Américain	
NAND			$S = \overline{a \cdot b}$
NOR			$S = \overline{a + b}$
ET			$S = a \cdot b$
OU			$S = a + b$
NON ou PAS ou INVERSEUR			$S = \overline{a}$

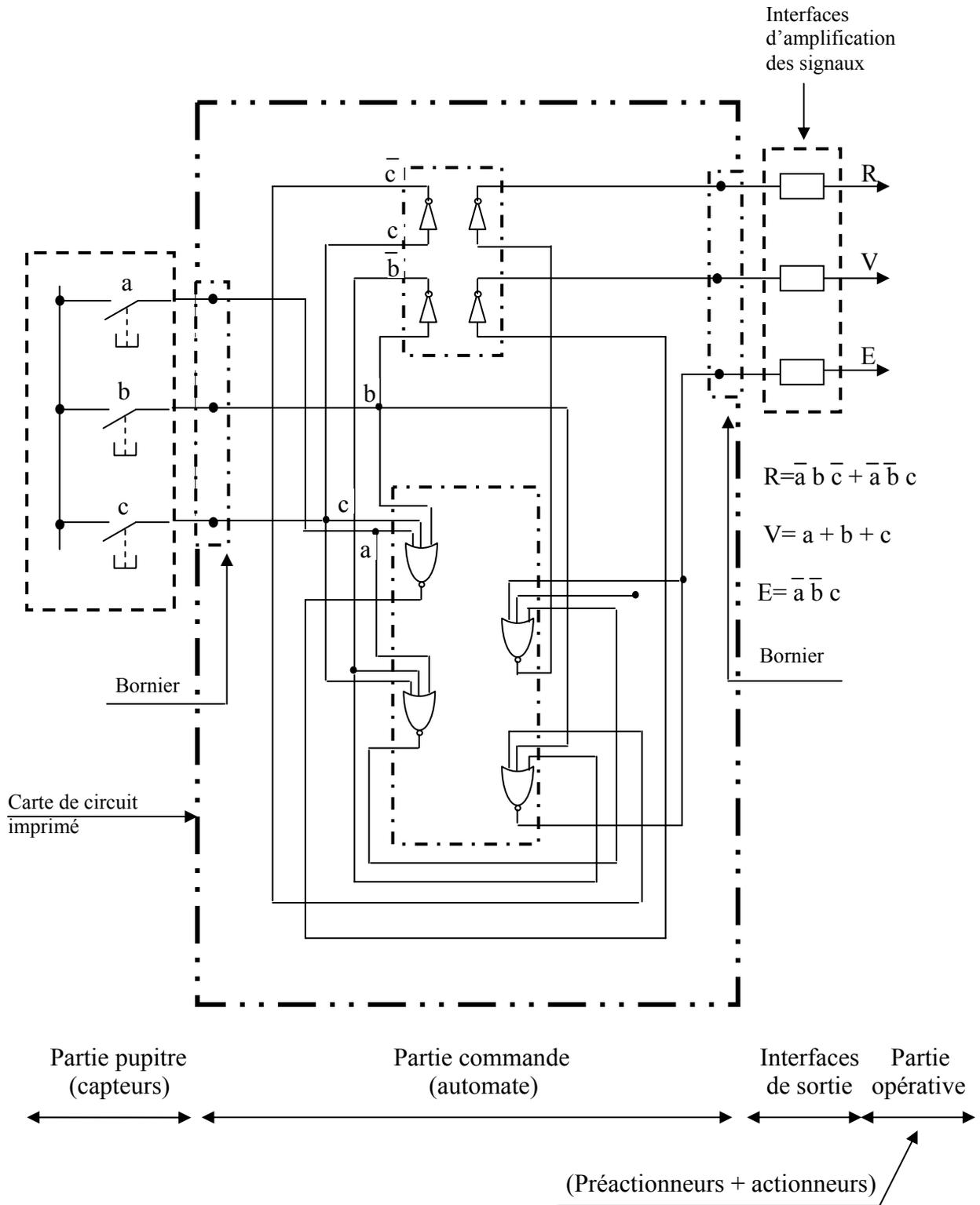
Application à l'exemple

- Partie pupitre : pour les capteurs liés à l'opérateur, on utilise des boutons poussoirs électriques à contacts ouverts au repos.
- Partie opérative : les actionneurs sont des électro-aimants qui assurent directement l'ouverture des trappes.
- Partie commande : l'automate est constitué d'une plaque de circuit imprimé, un circuit intégré quadruple porte NOR à trois entrées, un circuit intégré quadruple porte PAS (inverseur).

Remarque

Dans la technologie électronique, on a très souvent recours à des circuits d'amplification des signaux délivrés par l'automate (interfaces de sortie), ce qui n'est pas le cas dans la technologie électrique. En fonction de la nature des actionneurs, on peut utiliser en plus des préactionneurs.

Figure 4.4 : Schéma de câblage de l'automate en technologie électronique



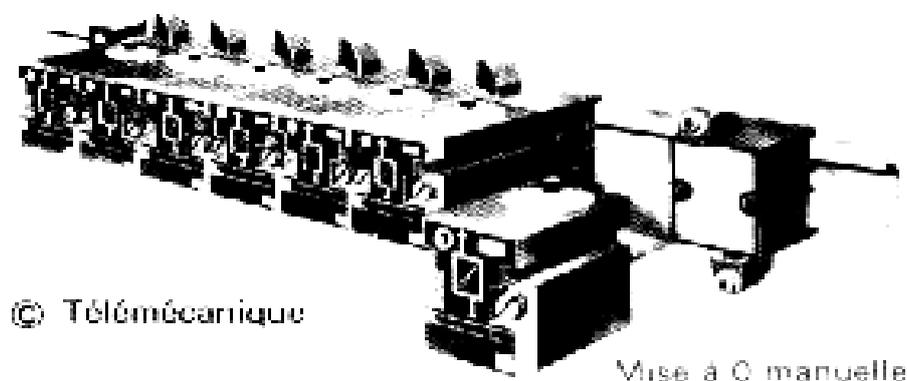
-V-LE SEQUENCEUR PNEUMATIQUE

Figure 4.16 : Séquenceur pneumatique câblé

-1-Généralités

La cellule de base est une mémoire pneumatique à remise à zéro prioritaire. On associe à cette mémoire une cellule ET et une cellule OU qui sont soit installées dans l'embase (Télémécanique), soit sur la mémoire elle-même (Crouzet), ou simplement extérieures.

Télémécanique préfère la remise à zéro indépendante de chaque mémoire, ce qui impose qu'il y ait toujours une mémoire à 1, et autorise qu'il y en ait plusieurs à 1 sous réserve qu'elles soient séparées d'au moins une mémoire (inexistence de 2 mémoires consécutives à 1). Ceci permet de traiter les grafjets qui possèdent de très longues séquences où plusieurs étapes sont actives en même temps (pour rester en accord avec la théorie du grafjet où une seule étape par séquence est active à la fois, cette longue séquence est considérée comme plusieurs séquences en cascade et prises en charge chacune par un séquenceur).

Crouzet met en cascade les remises à zéro de toutes les mémoires aval, ce qui interdit d'avoir plus d'une mémoire à 1, permet de démarrer systématiquement avec toutes les mémoires à zéro, et sur la première mémoire du bloc séquenceur.

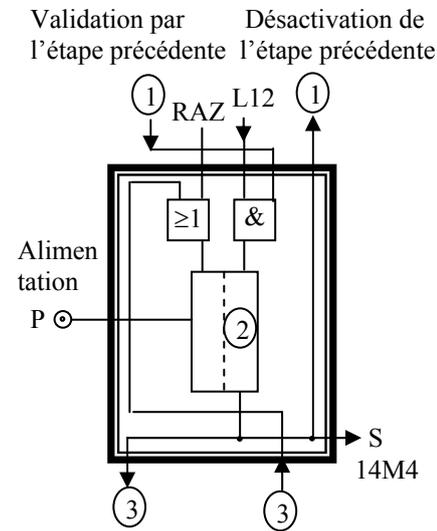
Climax utilise des mémoires à tiroir. Le passage d'une mémoire à l'autre se fait par une remise à zéro de la mémoire amont, avant l'activation de la mémoire aval.

L'avantage de tous ces composants « intégrés » est la rapidité de mise en œuvre et la possibilité de transposition directe du grafjet.

-2- Comparaison des techniques développées

Figures 4.17

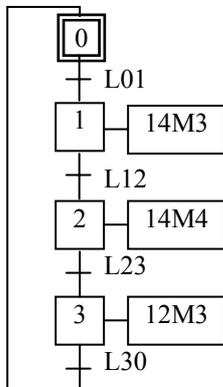
-a-Module théorique



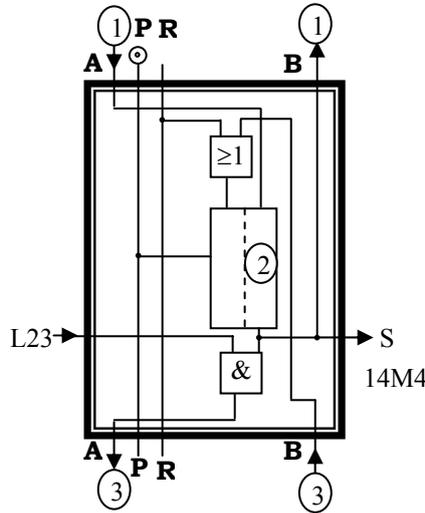
Désactivation par l'étape suivante Validation de l'étape suivante

La cellule ET et la cellule OU concernent l'enclenchement ou le déclenchement de la mémoire d'étape.

-d-Exemple de grafcet à câbler



-b-Module Télémécanique

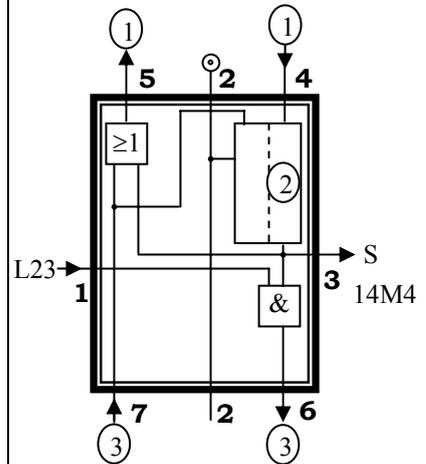


R : remise à zéro
P : alimentation
S : sortie vers les préactionneurs

- La cellule ET concerne la validation du module suivant. Par conséquent la réceptivité à câbler est la réceptivité suivante.
- La cellule OU concerne la désactivation du module courant.

- Il faut câbler la boucle de validation et la boucle de désactivation.
- Il faut valider le dernier module après un arrêt d'urgence.
- Il faut au moins trois modules.

-c-Module Crouzet



- La cellule ET concerne la validation du module suivant. Par conséquent la réceptivité à câbler est la réceptivité suivante.
- La cellule OU concerne le module précédent, et le signal remet à zéro tous les modules précédents. La mémoire est à effacement prioritaire.

- Pas de boucle à câbler.
- Pas de validation d'un module après un arrêt d'urgence.
- Deux modules suffisent pour fonctionner.

-3-Mise en cascade des modules ou câblage de grafcet

Il s'agit de câbler le séquenceur correspondant au grafcet précédent. La disposition des entrées / sorties facilite le câblage en emboîtant les modules les uns dans les autres.

-3-a- Modules Crouzet

L'association d'une mémoire à l'étape initiale est inutile. Dès l'apparition du signal L01, la mémoire du module numéro 1 se met à 1 et le cycle peut commencer.

Comme la cellule ET concerne le module suivant, et qu'il n'y a pas de module associé à l'étape zéro, alors pour la dernière étape du grafcet, on a bouclé la sortie 6 de la cellule ET du module M3 sur l'entrée 7 de la cellule OU du même module. Ainsi lorsque la réceptivité L30 est vraie, le module d'étape M3 et tous les modules précédents sont désactivés et le cycle s'arrête. Dès que L01 réapparaît le cycle peut recommencer.

Figure 4.17-b : Schéma de câblage des modules *Figure 4.17-a : Grafcet à câbler*

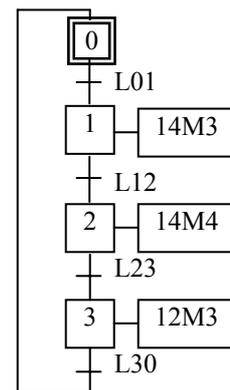
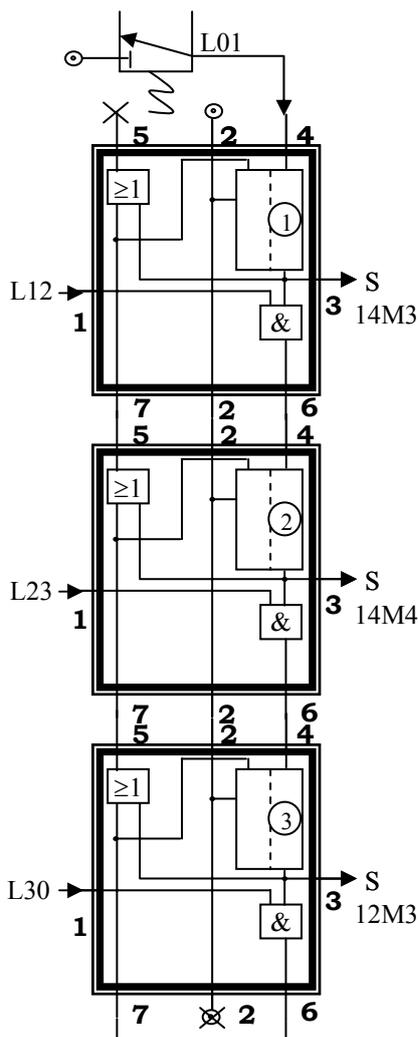
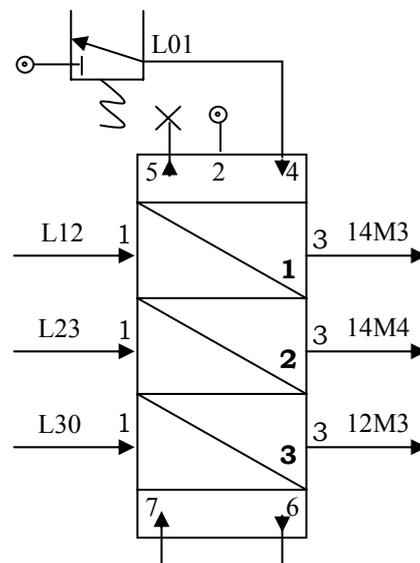


Figure 4.17-c : Représentation schématique simplifiée



-3-b- Modules Télémécanique

Le câblage est facilité par le principe de l'association d'une mémoire à chaque étape. Ainsi contrairement aux modules Crouzet, l'association d'une mémoire M0 à l'étape initiale est obligatoire. On remarque également les liaisons entre les modules M0 et M3 pour câbler la boucle de validation et la boucle de désactivation.

Figure 4.18-b : Schéma de câblage des modules *Figure 4.18-a : Grafset à câbler*

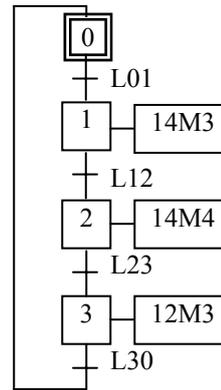
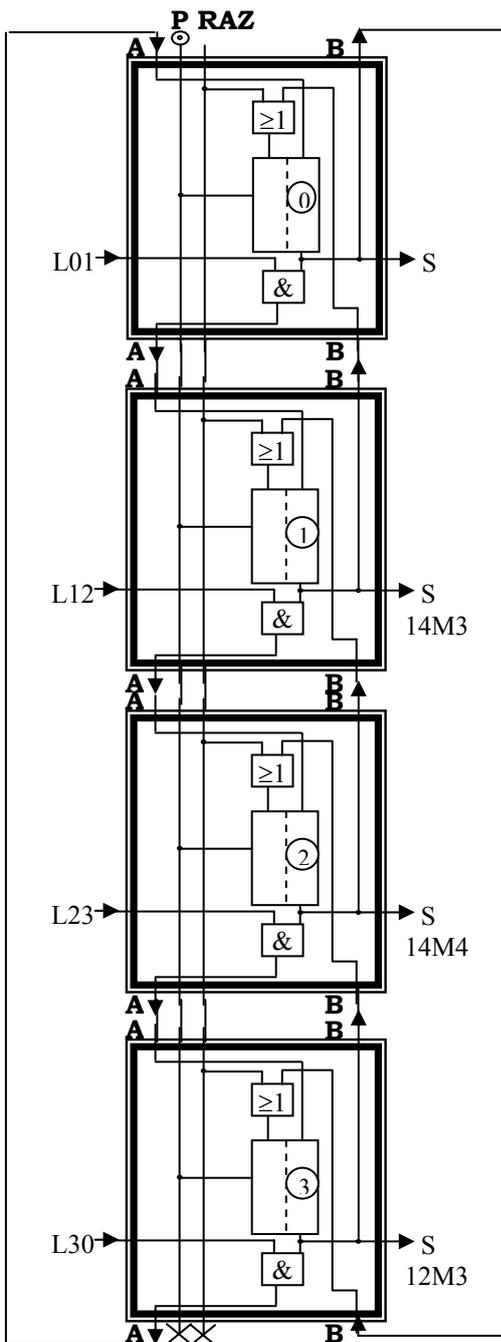
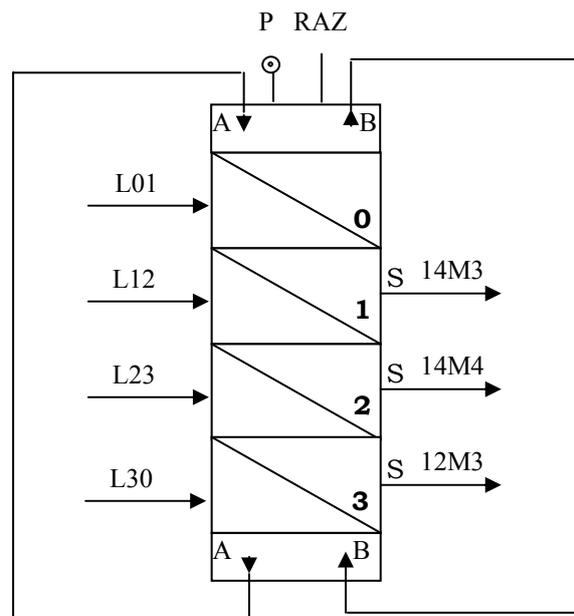


Figure 4.18-c : Représentation schématique simplifiée



-4-Câblage de grafquets à séquences multiples

GRAF CET

SEQUENCEURS

modules d'étapes Crouzet

modules d'étapes Télémechanique

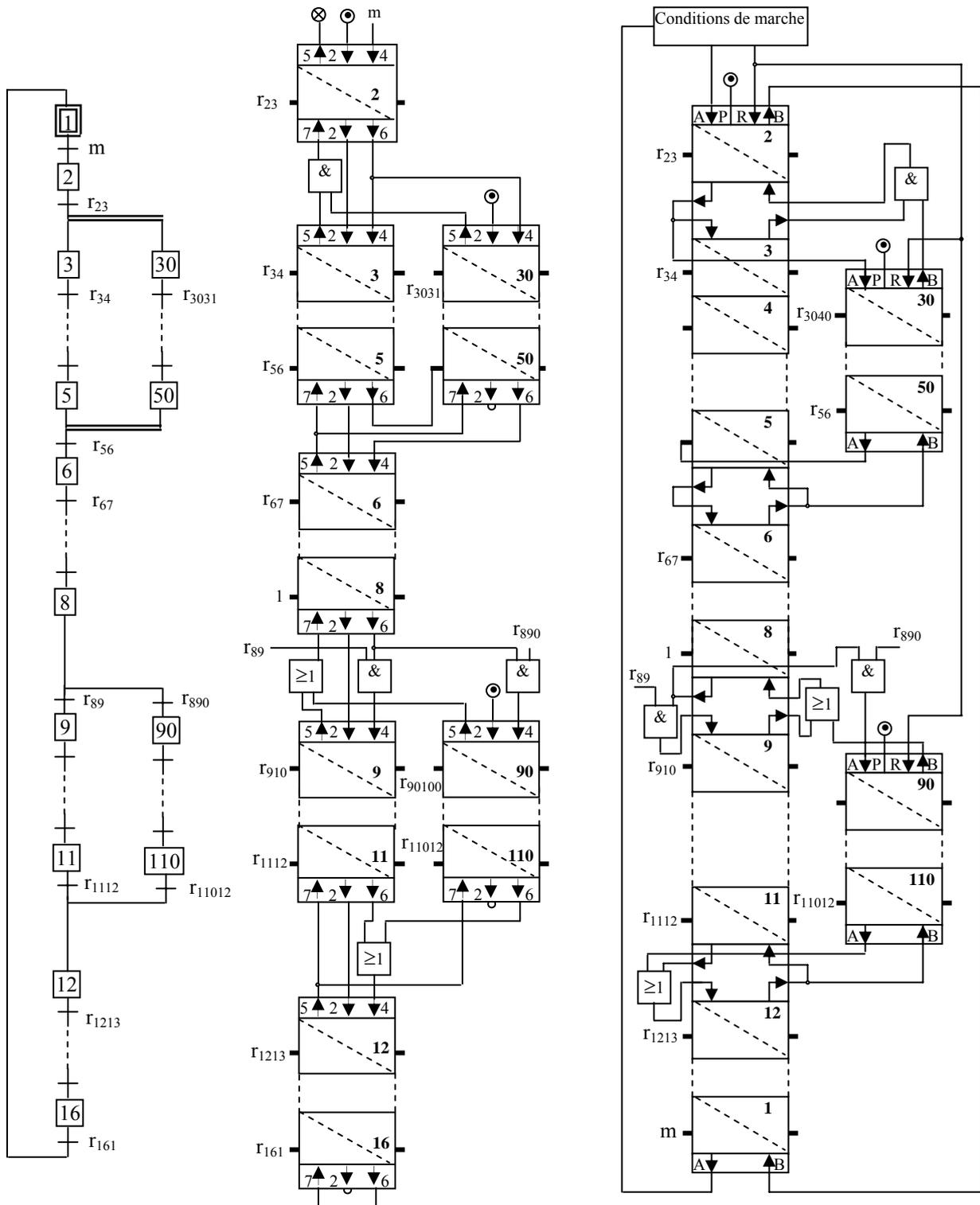


Figure 4.19 : Grafcet à séquences multiples et séquenceurs correspondants

Remarques

- On notera l'existence d'un module d'étape initiale chez Télémécanique et son absence chez Crouzet.
- Pour la séquence simultanée, la divergence en ET est réalisée par l'introduction d'une cellule ET dans le circuit de désactivation du module d'entrée numéro 2. La convergence en ET est réalisée en affectant la réceptivité commune de sortie r_{56} à un des modules, puis on considère sa sortie comme entrée de réceptivité du second module, et enfin ce dernier valide le module correspondant à l'étape de sortie de la séquence simultanée. On aurait pu obtenir le même résultat en introduisant une cellule ET pour valider le module de sortie, laquelle est pilotée par les sorties des deux modules.
- Pour l'aiguillage, la divergence en OU est réalisée par l'introduction de deux cellules ET pour la validation des modules, et une cellule OU pour la désactivation du module d'entrée. Il est utile de noter que la réceptivité pour ce module d'entrée est mise à un, et donc obligatoirement reliée à l'arrivée de pression. La convergence en OU est réalisée par l'introduction d'une cellule OU dans le circuit de validation du module de sortie.
- Les étapes d'entrée/sortie des séquences multiples sont symétriques et jouent le même rôle. Pour illustrer cela, sur les schémas de câblage de la séquence simultanée, la réceptivité r_{56} est volontairement disposée sur le module 5 dans le câblage des modules crouzet, alors qu'elle est disposée sur le module 50 pour Télémécanique.
- Par conséquent le câblage des modules d'entrée/sortie des aiguillages et séquences simultanées peut être modifié, notamment suivant la structure des réceptivités r_n .
- On notera chez télémécanique l'utilisation de modules de dérivation. Par ailleurs les conditions de marche nous donnent un ordre relié à l'entrée de remise à zéro de tous les modules. Enfin pour rester conforme au grafset, et si les conditions de sécurité le permettent, on peut directement valider le module 2 par le module 1 sous le contrôle de la réceptivité « m » correspondant au bouton de mise en marche.

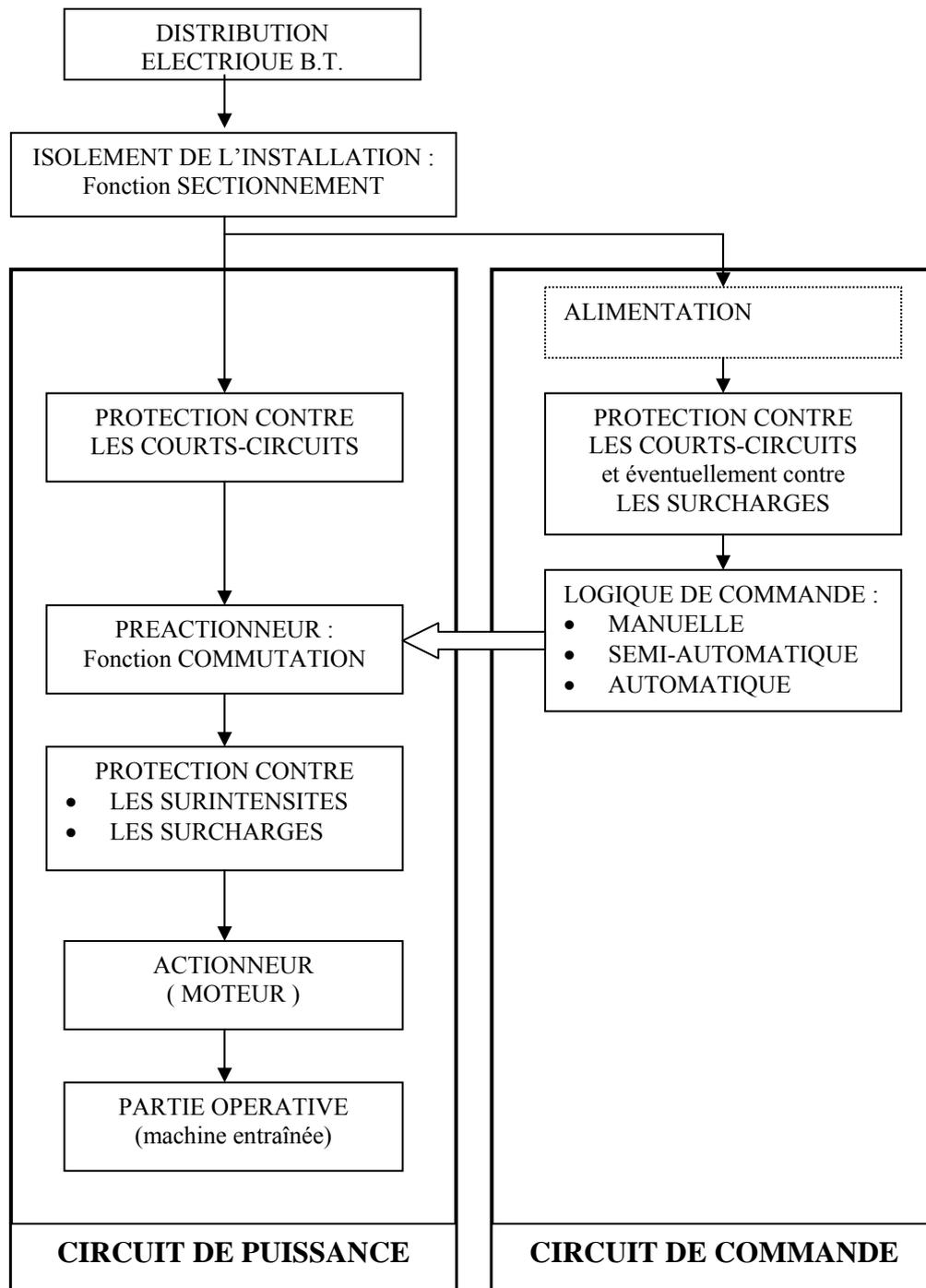
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.Bianciotto & P.Boye** « L'informatique en automatisation industrielle », tome 1, collection Techniques et Normalisation, édit Delagrave, France 1995.
- G.Boujat & J.P.Pesty** « Automatismes », collection AGATI, série Bac Pro, édit Dunod, Paris 1993.
- F.Degoulange & al** « Automatismes », classes de première et terminale E,F,BT- formation permanente, édit Dunod, Paris 1983.
- P.Denis & D.Murail & al** « Les activités de la maintenance », MSMA, collection espaces technologiques, édit Delagrave, France 1994.
- Y.Lecourtier & B.Saint-Jean** « Introduction aux automatismes industriels », édit Masson 1989.
- G.Michel & C.Laurgeau & B.Espiau** « Les Automates Programmables Industriels », chapitre 1, édit 1980, France.
- Norme française NF-C03-190** «Diagramme fonctionnel GRAFCET pour la description des systèmes logiques de commande», édit Afnor (Association Française de Normalisation), 1982.
- Norme internationale IEC-848** «Etablissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande », édit CEI (Commission Electrotechnique Internationale), 1988.
- Parker pneumatic & Télépneumatic** « Constituants pneumatiques », catalogue juin 1995.
- J.Perrin & al** «Automatique industrielle », édit Dunod, Paris 1982.
- M.Pinot & al** « Du grafcet aux automates programmables », collection L.P., édit Foucher, Paris 1986.
- Télemécanique** « Automatismes Industriels », méthodes-automatismes, notice technique NT-60 010-F-8N, édit La télemécanique, France, 1980
- Télemécanique** , Documents techniques du TSX 17-10, TSX 17-20.
- R.Thomas** « Les évolutions du grafcet et de sa normalisation », CETIM informations, n°113- décembre 1989, Cetim-établissement de Saint-Etienne, France

ALIMENTATION ET COMMANDE DES CIRCUITS ELECTRIQUES

-1-STRUCTURE FONCTIONNELLE D'UNE INSTALLATION ELECTRIQUE

Les règles à observer dans la conception des installations électriques basse tension (jusqu'à 1000V en alternatif et 1500V en continu) sont définies par des normes (exemple NFC 15-100). Tous les équipements de force motrice sont construits sur le modèle fonctionnel suivant :



-2-APPAREILS MIS EN ŒUVRE DANS UN EQUIPEMENT DE DEMARRAGE

Tout système de démarrage se doit de limiter l'intensité absorbée par le moteur, tout en maintenant les performances mécaniques de l'ensemble « moteur - machine entraînée » conformes au cahier de charges.

Le démarrage du moteur peut être direct, par paliers, progressif, variable suivant une loi de vitesse.

Les deux premières solutions font appel à une technologie électromécanique, la dernière à la technologie électronique. Dans tous les cas le circuit terminal moteur dit « circuit de démarrage » doit satisfaire les quatre fonctions principales :

- Sectionnement : pour isoler ce circuit du circuit amont et permettre les interventions de maintenance en toute sécurité ;
- Protection contre les courts-circuits : avec une détection et suivie d'une coupure rapide pour éviter la détérioration de l'installation ;
- Commutation : dont la commande peut être manuelle, semi-automatique ou automatique ;
- Protection contre les surcharges : avec une détection et une coupure qui doivent éviter que toute élévation intempestive de la température du moteur n'entraîne la détérioration de ses isolants.

Un équipement de démarrage est une association d'appareils qui satisfait à ces 4 fonctions.

FONCTIONS	SOLUTIONS FONCTIONNELLES	DESIGNATION DES APPAREILS					
		SECTION-NEUR	FUSIBLE	DISJONCTEUR	RELAIS THERMIQUE	CONTACTEUR	VARIATEUR ELECTRONIQUE
Sectionnement	*par pôles spécifiques	●					
	*avec les pôles de puissance			●			
Protection contre les courts-circuits	*par fusibles		●				
	*par déclencheur magnétique			●			
Commutation	*à commande manuelle			●			
	*à commande automatique					●	
	*à commande électronique						●
Protection contre les surcharges	Par déclencheur thermique				●		

**- LOIS GENERALES D'ELECTROTECHNIQUE -
(moteur asynchrone)**

-1-PRINCIPE

Le moteur asynchrone ou moteur à induction est un transformateur à champ tournant :

- le **stator** est le *primaire*, il est alimenté par le réseau d'énergie ;
- le **rotor** en *court-circuit* et libre de tourner constitue le *secondaire*.

-2-FONCTIONNEMENT

Les courants triphasés alimentant le stator donnent naissance à un **champ tournant**, qui induit des courants dans les conducteurs du rotor. L'action du champ sur les courants rotoriques génère des *forces électromagnétiques* qui font tourner le rotor.

-3-VITESSE DE ROTATION ET GLISSEMENT

- **Vitesse du champ tournant ou vitesse de synchronisme:**

$$\Omega_S = \omega = 2\pi n_s$$

$$n_s = f/p$$

avec :

Ω_S et ω : vitesse angulaire en rad/s

n_s : vitesse en tr/s

f : fréquence du réseau en Hz

p : nombre de paires de pôles du moteur

- **Limites de vitesses :**

Pour une fréquence donnée, la vitesse ne dépend que du facteur technologique de construction : le nombre de paires de pôles;

La limite de vitesse supérieure est obtenue pour le nombre de paires de pôles minimal, soit $p=1$.

A la fréquence industrielle de 50Hz, la vitesse de synchronisme maximale est :

$$n_s = f/p = 50\text{tr/s} = 3000\text{tr/mn}$$

La limite inférieure est fonction des contraintes technologiques liées aux problèmes de réalisation et de positionnement des paires de pôles dans la machine. On ne descend généralement pas en dessous de 500tr/mn, ce qui correspond à $p=6$ paires de pôles.

- **Inversion du sens de rotation :**

Pour inverser le sens de rotation du champ tournant, il suffit d'invertir deux des trois phases d'alimentation .

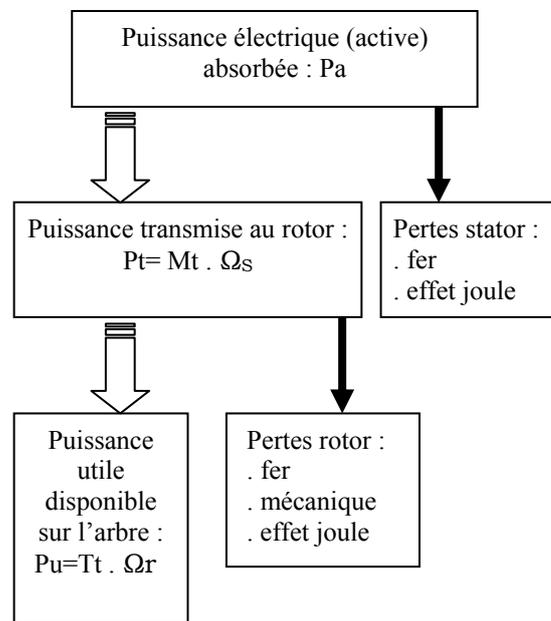
- **Vitesse rotorique, glissement**

Le rotor tourne à une vitesse Ω_r inférieure à la vitesse de synchronisme Ω_S .

La différence $\Omega_S - \Omega_r$ est dite *vitesse de glissement*, et les rapports $g = (\Omega_S - \Omega_r) / \Omega_S = 1 - \Omega_r / \Omega_S = 1 - n_r / n_s$ définissent le glissement.

-4-BILAN DES PUISSANCES, COUPLE TRANSMIS, RENDEMENTS

- **Bilan des puissances**



- **Couple transmis au rotor:** $T_t = P_u / \Omega_r$

- **Rendement industriel :** $\eta_i = P_u / P_a$

- **Rendement du rotor :** $\eta_r = 1 - g$

- **La puissance nominale P_n portée sur la plaque signalétique du moteur correspond à la puissance utile P_u**

- FORMULAIRE -

MECANIQUE

VITESSE ANGULAIRE : $\omega = 2 \pi n = 2 \pi N / 60$

ω en radians /seconde, rad/s.

n en tours par seconde, tr/s.

N en tours par minute, tr/mn.

FREQUENCE DE ROTATION SYNCHRONE
(sensiblement égale à la vitesse de rotation à vide d'un moteur asynchrone)

$$\omega = 2 \pi n = 2 \pi f / p$$

avec :

n : vitesse de rotation en tr/s

f : fréquence du réseau en Hz

p : nombre de paires de pôles du moteur

COUPLE NOMINAL : $T_n = P_n / \omega_n$

Avec :

T_n couple nominal en newtons-mètres

P_n puissance nominale en watts

ω_n vitesse angulaire nominale en rad/s

COUPLE ACCELERATEUR : $T_a = T_m - T_r$

Avec :

T_a : couple accélérateur en newtons-mètres

T_m : couple moteur en newtons-mètres

T_r : couple résistant en newtons-mètres

DUREE DE DEMARRAGE : $t = J \omega_n / T_a$

(de la vitesse 0 à la vitesse ω_n avec un couple accélérateur constant)

Avec :

t : temps de démarrage en secondes

J : moment d'inertie totale des masses en mouvement (moteur +charge) en kg.m²

ω_n : vitesse angulaire nominale en rad/s

T_a : couple accélérateur en newtons-mètres

MOMENT D'INERTIE D'UN CORPS DE

MASSE m : $J = m r^2$

Avec :

J : moment d'inertie en kg.m²

m : masse en kilogrammes

r : rayon de giration en mètres

RAYON DE GIRATION

Cylindre plein : $r = (r_1)^2$

Cylindre creux : $r = ((r_1)^2 + (r_2)^2) / 2$

Avec : r₁ = rayon extérieur

r₂ = rayon intérieur

ELECTRICITE

LOI D'OHM

• Circuit à résistance seule : $U = RI$

• Circuit à réactance seule : $U = XI$

• Circuit à réactance et résist. : $U = ZI$

Avec :

U tension aux bornes du circuit en volts

I intensité du courant en ampères

R résistance du circuit en ohms

X = X_L ou X_C : réactance du circuit en Ω

Z impédance du circuit en ohms

REACTANCE INDUCTIVE : $X_L = L \omega$

REACTANCE CAPACITIVE : $X_C = 1 / C \omega$

Avec :

L inductance en henrys

C capacité en farads

ω pulsation en rad/s

f fréquence en hertz

LOI DE JOULE (en monophasé) : $W = RI^2 t$

Avec :

W énergie dissipée en joules

R résistance du circuit en ohms

I intensité du courant en ampères

t temps de passage du courant en seconde

PUISSANCE APPARENTE : $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
(absorbée sur le réseau)

Avec :

S puissance apparente en voltampères

P puissance active en watts

Q puissance réactive en vars

cosφ facteur de puissance du circuit

$$\cos \varphi = P / S$$

PUISSANCE ACTIVE

• En continu : $P = UI$

• En monophasé : $P = UI \cos \varphi$

• En triphasé : $P = UI \sqrt{3} \cos \varphi$

Avec :

P puissance active en watts

U tension en volt (entre phases en triphasé)

I intensité du courant en ampères

cosφ facteur de puissance du circuit

FLUIDIQUE**DEBIT VOLUMIQUE :** $D_V = S V$ **DEBIT MASSIQUE :** $D_m = \rho S V$ **PUISSANCE MECANIQUE DE TRANSLATION :** $P = F V$

$$P = F V = \rho S V^3 = \rho D_V^3$$

Avec :

 D_V débit volumique en m^3 D_m débit massique en kg/sS section en m^2

V vitesse d'écoulement du fluide en m/s

 ρ masse volumique du fluide en kg

P puissance en watts (W)

F force en newtons (N)

p pression en pascals (Pa)

ELECTRICITE**PUISSANCE REACTIVE**• En monophasé : $Q = UI \sin \varphi$ • En triphasé : $Q = UI \sqrt{3} \sin \varphi$

Avec :

Q puissance réactive en vars

U tension en volt (entre phases en triphasé)

I intensité du courant en ampères

 $\cos \varphi$ facteur de puissance du circuit**COURANT ABSORBE PAR UN MOTEUR**• En continu : $I = P/U$ • En monophasé : $I = P/(U \cos \varphi)$ • En triphasé : $I = P/U \sqrt{3} \cos \varphi$

Avec :

I courant absorbé par le moteur en ampères

P puissance active en watts

U tension en volt (entre phases en triphasé)

 $\cos \varphi$ facteur de puissance du moteur**PUISSANCE UTILE :** $P_u = P \cdot \eta$

Avec :

 P_u puissance utile disponible sur l'arbre du moteur
(= puissance nominale P_n)

P puissance active absorbée sur le réseau

 η rendement du moteur