

POUR UN BON USAGE DU GRAFCET

1. HISTORIQUE-METHODOLOGIE

1.1. HISTORIQUE

Les années 70 connaissent une explosion des besoins industriels dans le domaine de l'Automatique.

La flexibilité et l'évolutivité (concepts devenus courants depuis) des Systèmes Automatisés de Production (SAP) sont déjà des priorités dans tous les domaines de la production.

Les armoires électriques câblées, les méthodes dépassées et inapplicables en milieu industriel (comme les méthodes d'Huffman), les solutions empiriques utilisées sur le terrain pénalisent fortement la rentabilité des sites de production.

Au même moment, un être étrange et mystérieux fait son apparition sur le marché (même si son existence est plus ancienne) : le microprocesseur. Il rend possible la réalisation d'Automatismes programmés (certains SNCC sont nés dans les années 60 avec des fortunes ou infortunes diverses) et ouvre des perspectives immenses.

Forts de leurs expériences malheureuses dans les automatismes câblés, les industriels souhaitent mettre au point et utiliser une méthode « universelle et conviviale » de SPECIFICATION des SAP.

En 1975, une commission présidée par Michel Blanchard (composée de chercheurs et d'industriels) est créée au sein de l' AFCET,

En 1977, un premier texte scientifique est rendu public ; il parle du « GRAPHE de l' AFCET » qui sera communément appelé « GRAFCET ». Cet outil graphique doit permettre de faciliter l'écriture et la compréhension des cahiers des charges fonctionnels des SAP. Il s'agit donc dès 1977, et cela a été confirmé à chaque congrès scientifique ou réunion de cette commission de l' AFCET qui va devenir le « Groupe GRAFCET », d'un outil de SPECIFICATION.

Dès 1978, alors que l'outil GRAFCET n'est qu'un embryon (plein d'avenir, certes mais un embryon tout de même), l'inspection générale STI décide d'inscrire le GRAFCET dans les programmes d'enseignement des classes de Lycées Techniques et de BTS (MAI notamment).

Le corps enseignant ne connaît évidemment pas le GRAFCET, et une vaste campagne de formation est lancée dans les Etablissements scolaires ; cette campagne est relayée, accompagnée, voire précédée par la société Télémécanique, très impliquée dans le « groupe GRAFCET » et qui a développé des API programmables en langage « GRAFCET ». Cet abus de langage, argument essentiellement commercial a eu des conséquences très importantes et durables (puisque l'on peut en constater les effets aujourd'hui encore). De nombreux collègues ont appris le « GRAFCET » à travers les logiciels de programmation Télémécanique, c'est à dire à travers ce qui n'était pas, ne pouvait pas être du GRAFCET. Ainsi sont-ils nombreux (et comment leur jeter la pierre ?) à confondre SPECIFICATION et REALISATION ; ne trouve-t-on pas dans le dernier référentiel du BTS CIRA des scories de cette période lorsque l'on lit « Implanter un grafcet dans un API ne possédant pas le langage grafcet » ? Cette phrase prouve la confusion qui règne dans les esprits à ce sujet et la nécessité urgente d'une sérieuse mise au point.

En 1982, grâce au travail acharné de certains membres de l' ADEPA (dont Paul BRARD de la société Télémécanique), le GRAFCET est normalisé en France, c'est la parution de la norme NF C03-190.

En 1988, le GRAFCET est normalisé par la CEI/IEC 848

Le groupe GRAFCET se réunit régulièrement et continue à approfondir le GRAFCET, il publie en 1993 un document UTE C03-191 dans lequel apparaissent notamment le forçage, la macro-étape, les transitions et étapes sources ou puits... On y trouve également les notions d'actions mémorisées S (Set pour mise à 1) et R (Reset pour mise à 0). Ce document n'est pas une norme, simplement un fascicule de documentation.

En 1993, la norme IEC 1131-3 permet de valider cinq langages de programmation d'API dont le SFC (inspiré du GRAFCET) que certains constructeurs appellent encore abusivement grafcet. Notons que dans sa nouvelle gamme de logiciels « Afinity », la société SCHNEIDER rentre dans le rang et donne le nom « SFC » à son langage de programmation graphique rejoignant ainsi le groupe EMERSON, le groupe ROCKWELL et bien d'autres.. Une grande majorité d'entreprises, après l'avoir boudé ou ignoré pendant quelques années, se tournant actuellement vers cet outil très performant qu'est le langage « SFC » inspiré du GRAFCET, constituant un prolongement logique et cohérent d'un cahier des charges rédigé à l'aide du GRAFCET.

L' AFCET disparaît et le groupe GRAFCET intègre le club EEA ; le groupe GRAFCET devient groupe COSED (Commande des Systèmes à Evénements Discrets).

En 2002, la norme IEC 60848 est très largement modifiée, sa traduction française est publiée en septembre de la même année sous la référence NF EN 60848.

1.2. METHODOLOGIE

1.2.1. LE SYSTEME AUTOMATISE DE PRODUCTION (SAP)

Il semble inconcevable de rédiger un cahier des charges, encore moins un programme API si l'on n'a pas conscience du fonctionnement et de la structure d'un SAP :

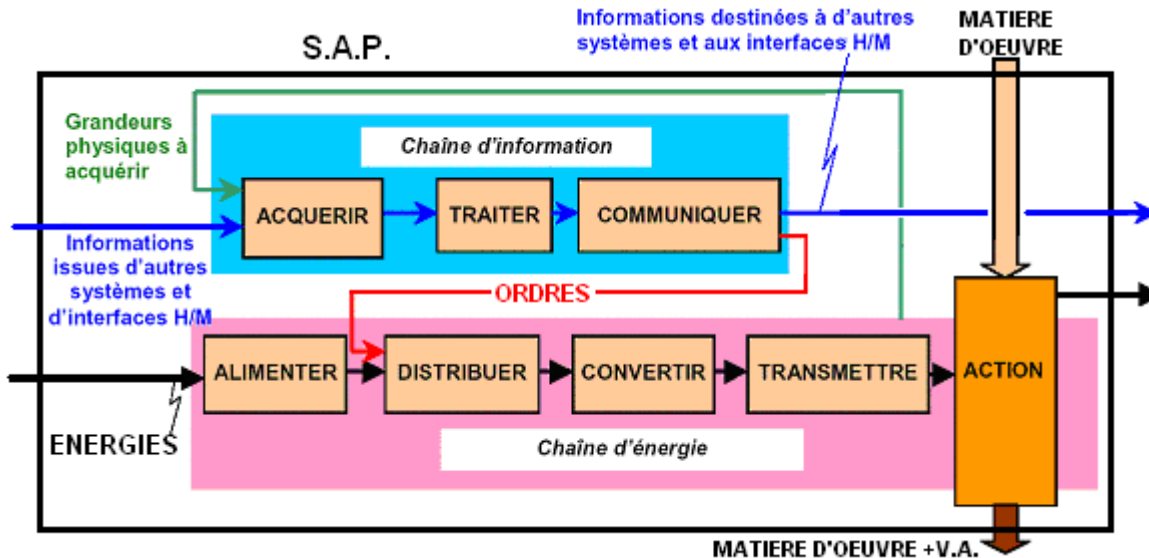


Figure 1 : SAP

Un système automatisé de production n'existe que pour la VALEUR AJOUTEE apportée à la matière d'œuvre. Il est essentiellement constitué de trois parties :

- Le procédé qui permet l'action sur la matière d'œuvre (on y trouve tous les actionneurs comme les moteurs, et les effecteurs comme les pompes..)
- La chaîne d'énergie qui permet d'alimenter les actionneurs
- La chaîne d'information qui permet de s'informer de l'état du système, de lui envoyer les ordres nécessaires et de communiquer avec d'autres systèmes.

Le travail de l'automaticien, dans la phase de conception se déroule en deux étapes distinctes :

- SPECIFIER le comportement de la chaîne d'information (souvent appelée partie commande) afin de répondre au cahier des charges imposé par le fonctionnement du procédé.
- REALISER une partie commande répondant au cahier des charges rédigé précédemment

Le résultat obtenu sera d'autant plus performant que la méthode de travail sera rigoureuse ; l'une des règles de conduite les plus importantes, et pourtant trop souvent négligée, consiste à rédiger le cahier des charges sans imposer à priori une solution technique.

1.2.2. LA SPECIFICATION ET LES POINTS DE VUE

la spécification du comportement du SAP peut prendre des formes différentes selon les points de vue que se donne le spécificateur. On en distingue généralement trois, deux d'entre eux étant particulièrement utiles.

- Le point de vue système, qui permet une SPECIFICATION FONCTIONNELLE du SAP.

A cette étape de la conception, aucune solution technologique n'est connue du spécificateur qui va créer un GRAFCET de SPECIFICATION FONCTIONNELLE ou d'un POINT DE VUE SYSTEME.

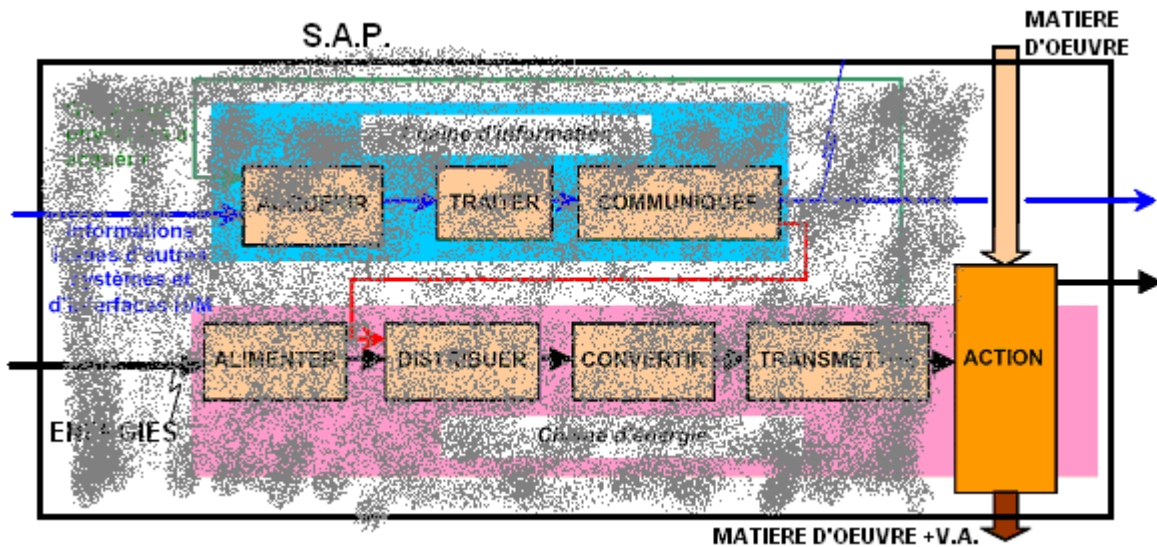


Figure 2 : Spécification fonctionnelle

- Le point de vue partie commande, qui permet une SPECIFICATION OPERATIONNELLE du SAP. A cette étape de la conception, les choix technologiques de la chaîne d'énergie sont faits, il reste à définir la chaîne d'information ou partie commande :

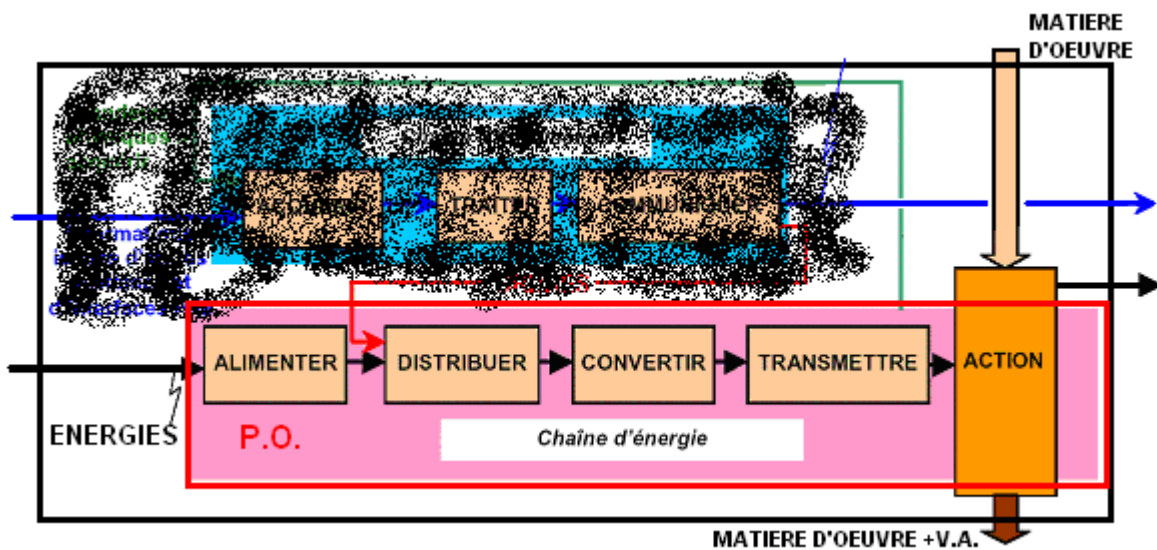


Figure 3 : spécification opérationnelle

Il s'agit donc ici de dire quels ordres la partie commande doit envoyer au système en fonction des informations qu'elle est capable de traiter ; même si à ce moment là, l'automaticien sait que sa partie commande sera réalisée à partir d'un modèle particulier d'API, avec un logiciel particulier , sa spécification doit rester totalement indépendante des solutions qu'il peut entrevoir. Il est en train de rédiger un cahier des charges pour le programmeur, le câbleur, l'informaticien qui va éventuellement installer un réseau de terrain. Il doit être précis et rigoureux mais bien se garder d'imposer une solution à celui qui va réaliser, en un mot :

LA SPECIFICATION OPERATIONNELLE CONSISTE A DIRE CE QUE LA PARTIE COMMANDE DOIT FAIRE
MAIS PAS COMMENT ELLE DOIT LE FAIRE .

2. LE GRAFCET ET LA NORME NF EN 60848

Le GRAFCET est devenu un outil indispensable à la spécification des SAP, aussi bien dans la phase de spécification fonctionnelle que dans la phase de spécification opérationnelle. La qualité de la spécification dépend

fortement de sa lisibilité, il est donc essentiel de respecter des règles comprises et admises par tous : celles qui sont définies par une norme.

2.1. LE CONTEXTE D'UTILISATION

Décembre 1988, 11 ans après sa création, le Grafcet fait l'objet d'une norme internationale éditée par la Commission Électrotechnique Internationale : la CEI/IEC 60848 qui définit « l'établissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande ».

La norme CEI 60848 annule et remplace la norme NF C03-190, elle s'applique à la description du fonctionnement des systèmes de commande définis par la norme CEI 50. La norme CEI 60848 a fait l'objet d'une révision en 2002 qui définit le « langage de spécification GRAFCET pour diagrammes fonctionnels en séquence ».

Un système de commande est un système qui établit une loi de causalité entre une entrée et une sortie ; « l'entrée commande la sortie ».

Cette définition, surtout utilisée dans le domaine des systèmes continus, peut s'appliquer à tout système automatisé de production ; elle présente un avantage considérable sur le contenu de la norme NF C03-190. La frontière et les entrées/sorties de chaque système ou sous-système sont déterminées de manière précise.

- La norme CEI/IEC 60848 conserve le graphisme et les règles d'évolutions définis par la C03-190.
- Elle définit une représentation détaillée des actions associées au grafcet.
- Elle redéfinit les conditions de transition (ou réceptivités) et supprime la notion de « temporisation » définie par la C03-190.
- Elle autorise la réutilisation d'une séquence, notion proche du concept de tâche qui n'est pas normalisé.
- Elle définit les notions de macro étape et d'étape encapsulante.
- Elle définit la notion de forçage et de grafcet partiel
- Elle autorise l'utilisation des étapes sources ou puits et des transitions sources ou puits.
- Elle définit le contexte d'utilisation du GRAFCET en insistant sur les différences entre *spécification par GRAFCET* (norme CEI 60848) et *réalisation par programme SFC* (norme CEI 61131-3). Le GRAFCET permet de spécifier le comportement de la partie séquentielle d'un système (figure 4) dont les entrées et les sorties sont exclusivement booléennes.

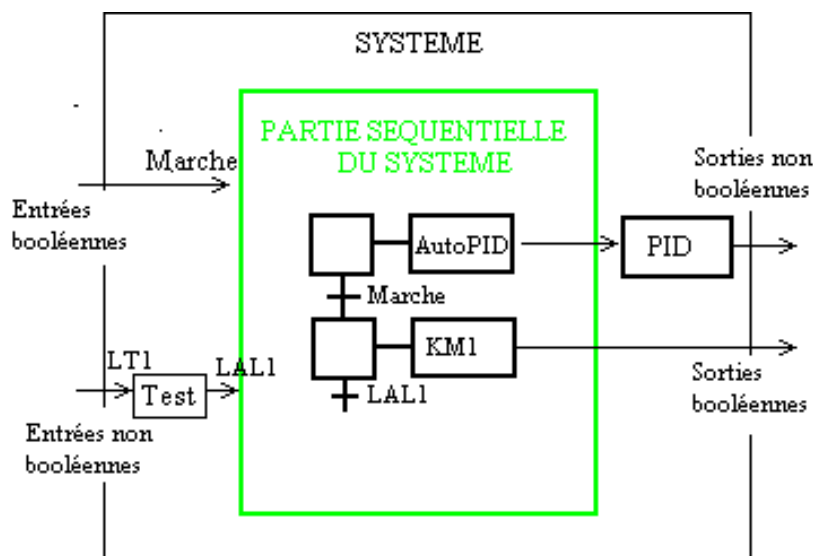


Figure 4 : contexte d'utilisation du GRAFCET

2.2. LA NORME CEI 61131-3

Elle définit (entre autres) les éléments du diagramme fonctionnel en séquence (SFC) pouvant être utilisés dans l'organisation d'un programme automate écrit en langage graphique. Elle utilise les définitions de la CEI 60848 avec les modifications nécessaires à la réalisation d'éléments de commande d'exécution.

La norme CEI 61131-3 est une norme concernant les langages de programmation d'automates ; en autorisant l'utilisation du diagramme fonctionnel en séquence (langage de programmation inspiré du Grafcet), elle permet de

donner aux programmes une structure proche de la spécification Grafcet. Elle favorise donc un diagnostic rapide des défaillances et une meilleure maîtrise du système par l'équipe chargée de la conduite. La norme CEI 61131 s'applique aux automates programmables, de ce fait elle ne remet pas en cause et n'annule pas la norme CEI 60848 qui reste, pour l'instant, le seul élément de référence officiel concernant le Grafcet.

2.3. LES ELEMENTS NORMALISES

2.3.1. LES ETAPES

Une étape (et les ordres qui lui sont associés) caractérise un comportement invariant du système, elle est identifiée par un carré et un repère alphanumérique :

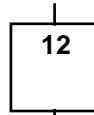


Figure 5 : étape

Une étape est soit active, soit inactive ; l'ensemble des étapes actives définit la situation du grafcet et, par suite, celle du système spécifié. Les étapes qui sont actives au début du processus de commande (à l'instant initial) correspondent à la situation initiale, ce sont les étapes initiales :

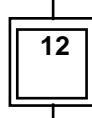


Figure 6 : étape initiale

A chaque étape peut être associée une action représentée par une forme littérale ou symbolique suffisamment explicite pour éviter toute confusion :

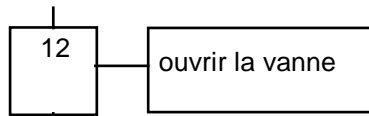


Figure 7 : action associée

Une étape ne comportant pas d'action associée correspond généralement à un comportement d'attente d'événements non commandés qui peuvent être annotés sous forme de commentaires :

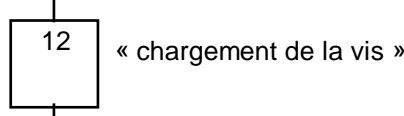


Figure 8 : commentaire associé à une étape

Si plusieurs actions sont associées à une même étape, il est possible de disposer ces dernières de plusieurs façons. Les dispositions 2, 3 et 4 permettent d'éviter toute confusion dans l'interprétation.

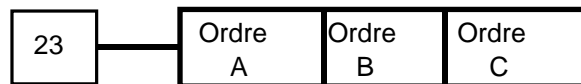


Figure 9 : disposition n°1

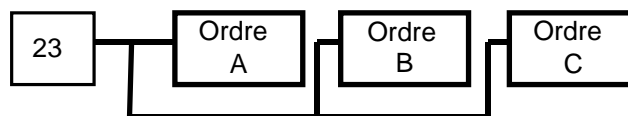


Figure 10 : disposition n°2

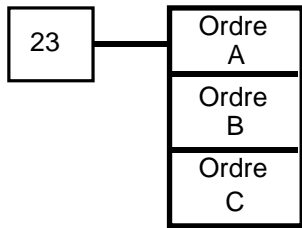


Figure 11 : disposition n°3

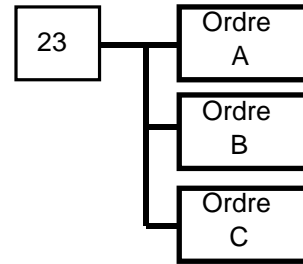


Figure 12 : disposition n°4

Une étape source n'est reliée à aucune transition en amont ; si toutefois elle n'est pas initiale, elle n'est ne sera activée que par un ordre de forçage ou un lien d'encapsulation. Une étape puits n'est reliée à aucune transition en aval, elle ne peut être désactivée que par un ordre de forçage ou un lien d'encapsulation.

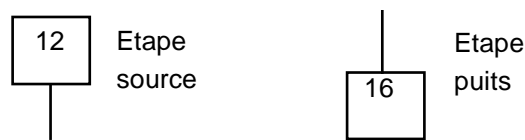


Figure 13 : étapes source et puits

Une étape peut être source et puits, dans ce cas elle permet de spécifier des comportements combinatoires.

La norme CEI 60848 définit l'étape encapsulante (fig. 14), cette dernière contenant d'autres étapes dites encapsulées. La macro-étape permet de simplifier la représentation d'un grafcet en remplaçant une séquence par sa macro-représentation (fig. 15)

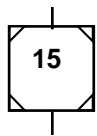


Figure 14 : étape encapsulante

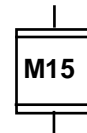


Figure 15 : macro étape

2.3.2. LES TRANSITIONS

La transition permet de décrire la possibilité d'évolution de l'état actif d'une étape à une autre ; la transition est identifiée (voir figure 16) par un tiret situé entre les étapes concernées par l'évolution :

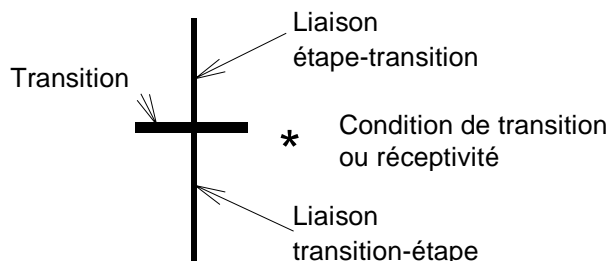


Figure 16 : Description d'une transition

La condition de transition (ou réceptivité) peut être décrite par un texte (fig. 17), une expression booléenne (fig. 18), ou par des symboles graphiques normalisés (fig. 19 et 20).

Les changements d'état des variables (front montant et front descendant) sont admis au même titre que l'état des variables. La norme ne précise pas la façon dont il faut prendre en compte les changements d'états.

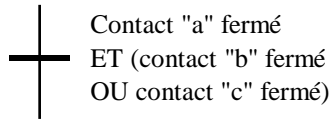


Figure 17 : description littérale d'une réceptivité

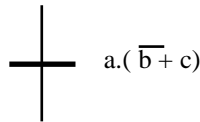


Figure 18 : description booléenne d'une réceptivité

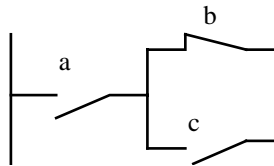


Figure 19 : description d'une réceptivité par schéma électrique

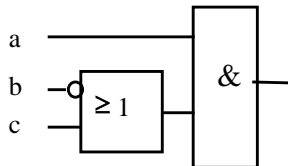


Figure 20 : description d'une réceptivité par logigramme

La temporisation définie par la norme C03-190 disparaît au profit d'un « opérateur binaire à retard ». Le chronogramme de l'opérateur à retard est donné figure 21 ; tout signal binaire peut être utilisé comme entrée de l'opérateur à retard.

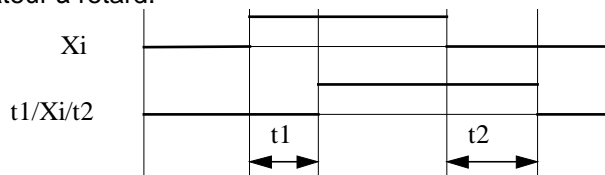


Figure 21 : chronogramme de l'opérateur à retard

La réceptivité devient vraie après un retard t_1 référé au front montant de X_{25} et redevient fausse après un retard t_2 référé au front descendant de X_{25} (figure 2-23).

Si t_1 (ou t_2) est égal à zéro, la notation X_{25}/t_2 (ou t_1/X_{25}) sera préférée.

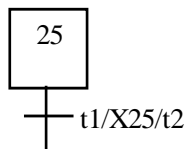


Figure 22 : réceptivité dépendante du temps d'activité de l'étape 25

L'évaluation d'un prédicat tel que $[Compteur=3]$ constitue une variable booléenne qui peut participer à la description d'une réceptivité. Lorsque l'assertion est vérifiée, le prédicat vaut 1, sinon il vaut 0

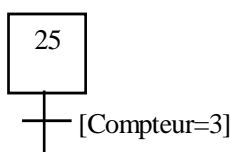


Figure 23 : réceptivité liée à la valeur du compteur



Figure 24 : transitions source et puits

Une transition source est toujours validée, on lui associe généralement une réceptivité de type front afin de limiter le nombre de franchissements. Une transition puits n'est reliée à aucune étape aval, son franchissement désactive la ou les étapes amonts. Une transition ne peut pas être source et puits.

2.3.3. LES ACTIONS ASSOCIEES AUX ETAPES

Après une modification importante de la norme NF C03 190 en 1988 (utilisation de la représentation détaillée des étapes), la nouvelle norme CEI 60848 définit deux types d'actions :

2.2.3.1. L'action continue

L'action continue est associée nécessairement à une étape. Plusieurs actions continues peuvent être associées à une même étape. Le symbole d'action continue contient le libellé **d'assignation** (figure 25).

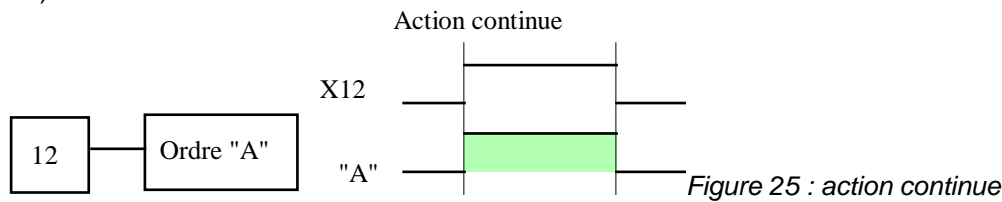


Figure 25 : action continue

L'assignation est toujours soumise à une condition d'assignation qui peut être une proposition logique (fig.26) ou dépendante du temps (fig. 27). La condition d'assignation ne doit jamais comporter de front de variable ; l'absence de notation signifie que la condition est toujours vraie.

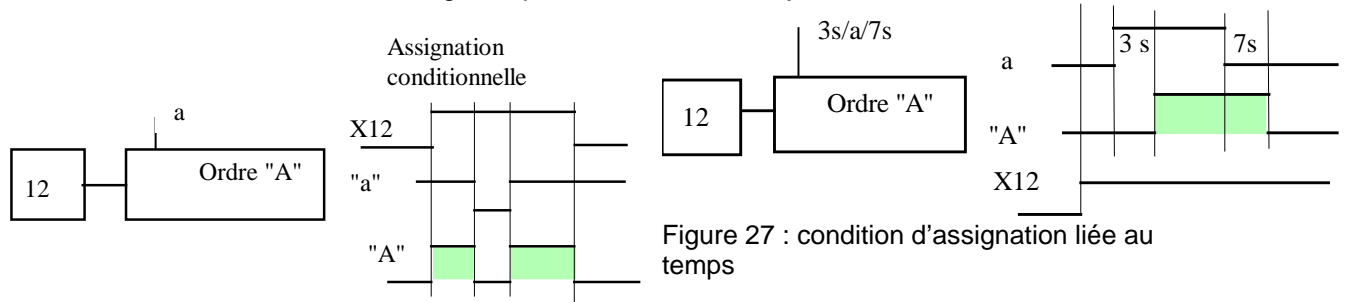


Figure 27 : condition d'assignation liée au temps

Figure 26 : Condition d'assignation

L'action peut être retardée (figure 28), c'est à dire que la condition d'assignation n'est vraie qu'après une durée t_1 depuis l'activation de l'étape.

L'action peut être limitée dans le temps (fig. 29) . C'est à dire que la condition d'assignation n'est vraie que pendant une durée t_1 depuis l'activation de l'étape.

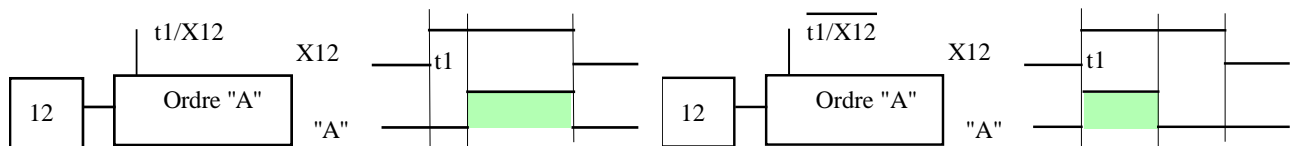


Figure 28 : Action retardée

Figure 29 : action limitée dans le temps

2.2.3.2. L'action mémorisée

L'action mémorisée est liée nécessairement à un événement interne ; son libellé permet d'affecter une valeur donnée à une variable (fig. 30).

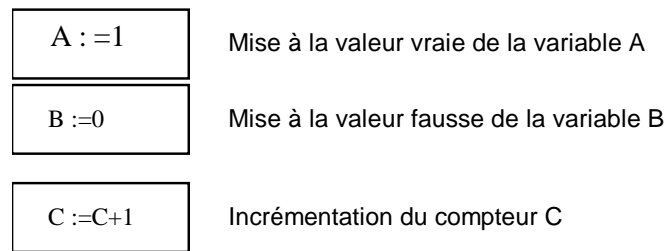


Figure 30 : libellés d'affectation

Un « événement interne » est constitué par l'association d'un événement d'entrée et d'une situation du grafcet ; les événements internes peuvent être décrits par :

- L'activation d'une étape :

Une action à l'activation est une action mémorisée liée à l'activation de l'étape qui lui est liée (fig. 31). La variable booléenne A est affectée à la valeur 1 lorsque l'étape 12 est activée.

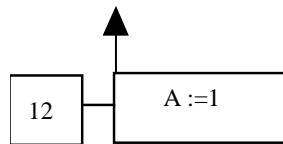


Figure 31 : action à l'activation

- La désactivation d'une étape :

Une action à la désactivation est une action mémorisée liée à la désactivation de l'étape qui lui est liée (fig. 32). La variable booléenne A est affectée à la valeur 1 lorsque l'étape 12 est désactivée.

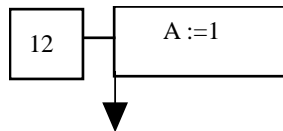


Figure 32 : action à la désactivation

- Le franchissement d'une transition

Une action au franchissement est une action associée au franchissement de la transition qui lui est liée (fig. 33). La variable booléenne B est affectée à la valeur 0 lorsque la transition (13) est franchie. Il n'est pas possible d'obtenir un fonctionnement équivalent en associant une action à la désactivation de l'étape 1003 ou à l'activation de l'étape 1005.

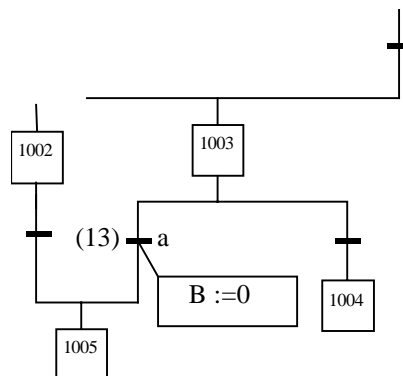


Fig. 33 : Action au franchissement

- Action sur événement

Une action sur événement est une action mémorisée associée à l'événement interne décrit par une expression située au dessus du rectangle représentant cette dernière (fig. 34).

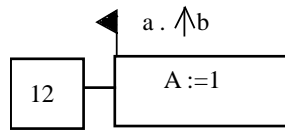


Fig. 34 : Action sur événement

L'expression logique $a . \uparrow b$ décrit un événement interne tel que : la variable A est affectée à la valeur 1 si, l'étape 12 étant active, la variable b devient vraie alors que a est vrai.

REMARQUE IMPORTANTE : Une action mémorisée ne peut pas être conditionnelle.

2.2.3.3. Réutilisation d'une séquence

Une séquence qui se produit plusieurs fois peut être représentée à chaque occasion par un seul symbole d'étape avec un commentaire (« Séquence S1 » dans l'exemple) qui permet d'informer sur les événements qui vont se produire pendant la séquence.

La séquence S1 est « appelée » par les étapes 12 et 16 du graphe principal ; pendant le déroulement de la séquence, l'étape d'appel (12 ou 16 dans cet exemple) reste active. Lorsque la séquence est terminée, la variable de coordination (X59 dans cet exemple) devient vraie et les deux graphes évoluent de manière synchrone. La réceptivité toujours vraie (=1) placée après l'étape de coordination crée une situation instable à chaque fin de séquence. Comme l'indique le chronogramme de la figure 35, l'évolution est fugace ; la

transition (t59) est virtuellement franchie, l'étape 59 est virtuellement activée.

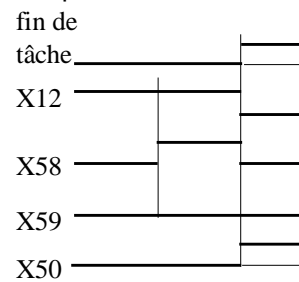


Figure 35 : Chronogramme de fin de séquence

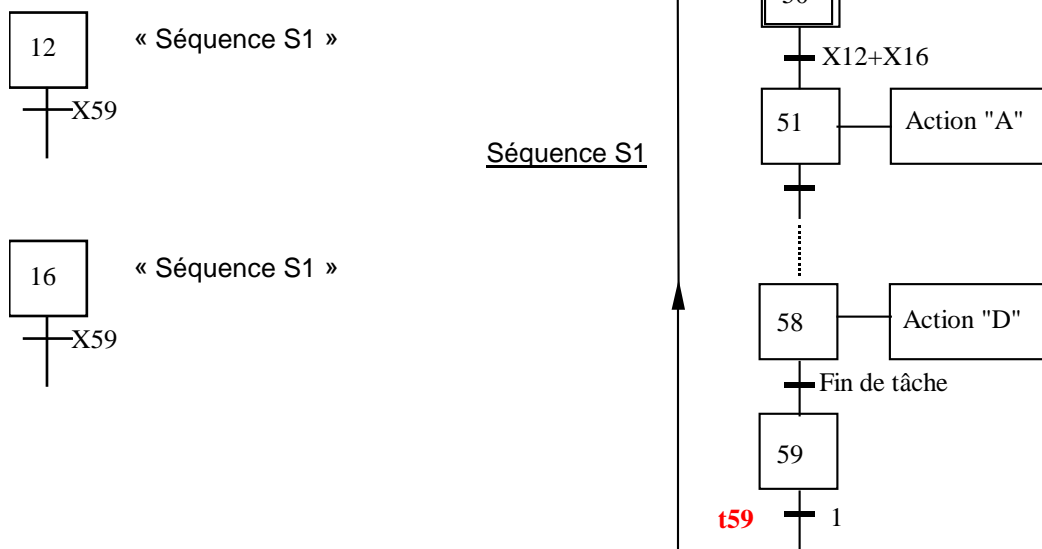


Figure 36 : réutilisation d'une séquence

2.2.3.4. La macroétape

La macro-étape (figure 37). est l'unique représentation d'un ensemble unique d'étapes et de transitions nommé « expansion de macro-étape » ; cet ensemble commence par une seule étape d'entrée et se termine par une seule étape de sortie qui constituent les seules connexions structurelles avec le grafcet auquel appartient la macro-étape.

La variable XM3 représente l'état de la macro étape M3. Cette dernière est dite « active » (XM3 est alors vraie) si l'une au moins des étapes de son expansion est active. L'étape d'entrée E* est activée dès que la macro étape est activée ; la transition aval de la macro étape est validée par l'activité de l'étape de sortie S*.

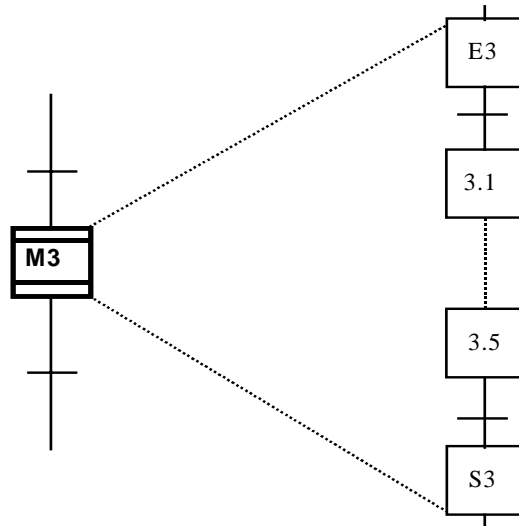


Figure 37 : macro-étape

2.2.3.5. Notions hiérarchiques

1. GRAFCET GLOBAL

Un grafcet global (figure 38) est constitué par l'ensemble des grafcets partiels spécifiant le fonctionnement de l'équipement de commande. Un grafcet partiel est un ensemble de grafcets connexes ; un grafcet connexe est tel qu'il existe un lien graphique entre tous les éléments qui le constituent. Le partitionnement du grafcet global est réalisé à partir de critères méthodologiques, ce partitionnement peut être réalisé à partir d'ordres de forçage (figure 39) ou à partir de relations d'encapsulation (figure 44). Un grafcet partiel est désigné par la lettre G suivie d'un repère alphanumérique :

G1, GPN,... Un grafcet partiel est dit actif lorsque l'une au moins de ses étapes est active ; la variable XG* du grafcet partiel est vraie lorsque celui ci est actif.

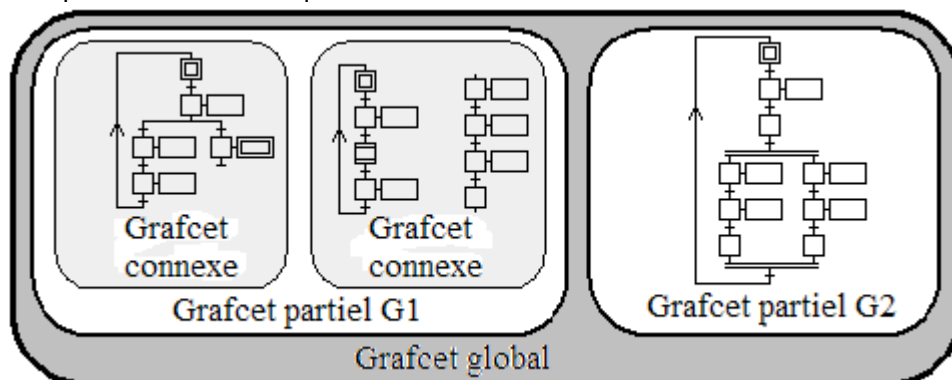


Figure 38 : Grafcet global

2. ORDRES DE FORÇAGE

La hiérarchisation d'un grafcet global peut être obtenue par l'utilisation d'ordres de forçage, elle permet de structurer l'analyse et de construire le grafcet spécificateur en s'appuyant notamment sur l'analyse des modes de marche et d'arrêt du système spécifié. Un ordre de forçage ne peut exister qu'entre deux grafcets partiels, il s'applique à la totalité des grafcets connexes et des étapes contenus dans le grafcet partiel forcé.

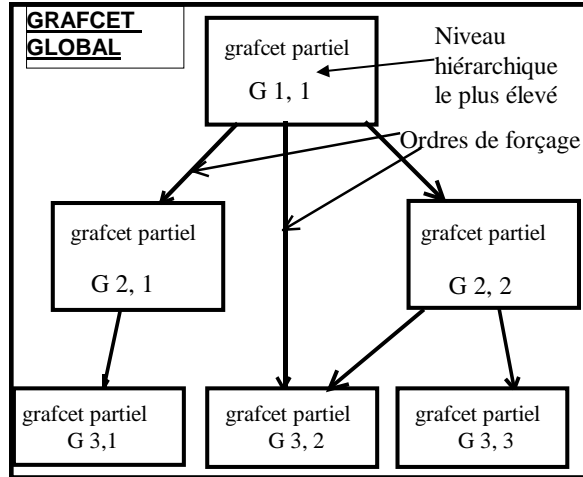


Figure 39 : hiérarchie de forçage

L'ordre de forçage est un ordre interne dont l'exécution est prioritaire sur l'application des règles d'évolution. Le diagramme fonctionnel forcé ne peut pas évoluer tant que l'ordre de forçage est présent. Utiliser un ordre de forçage implique un niveau hiérarchique plus élevé pour le diagramme fonctionnel émettant l'ordre de forçage. Les ordres de forçage sont émis à l'intérieur du grafcet global d'un grafcet partiel vers un autre grafcet partiel de niveau hiérarchique inférieur.

L'ordre de forçage est représenté par un double rectangle lié à une étape du grafcet partiel forçant contenant le nom du grafcet partiel forcé et la situation forcée entre accolades.

Les ordres de forçage sont au nombre de quatre :

- Ordre d'initialisation (figure 40). Les étapes initiales du grafcet partiel forcé sont activées, toutes les autres sont désactivées.

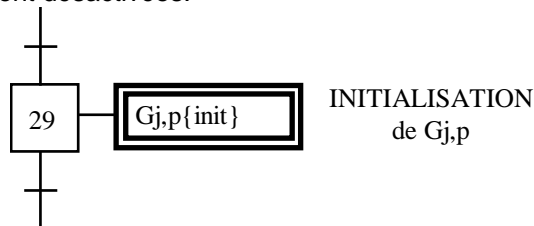


Figure 40 : forçage à la situation initiale

- Forçage à la situation vide (figure 41). Les étapes du grafcet partiel forcé sont toutes désactivées ; le redémarrage ne pourra être obtenu que par un autre ordre de forçage ou une transition source.

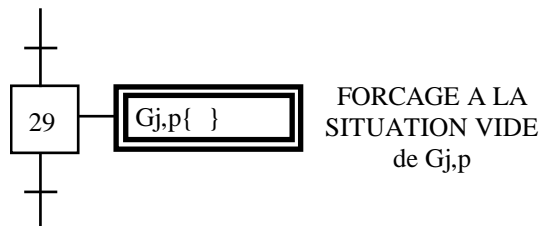


Figure 41 : forçage à la situation vide

- Forçage à une situation donnée (figure 42). Les étapes du grafcet partiel forcé dont les repères sont indiqués entre accolades sont activées, toutes les autres sont désactivées.

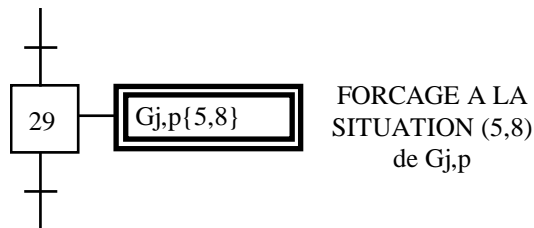


Figure 42 : forçage dans une situation donnée

- Forçage à la situation « courante » (figure 43). Le grafcet partiel forcé est « figé » dans la situation qu'il avait au moment où l'ordre de forçage est émis. Une étoile entre accolades symbolise la situation courante.

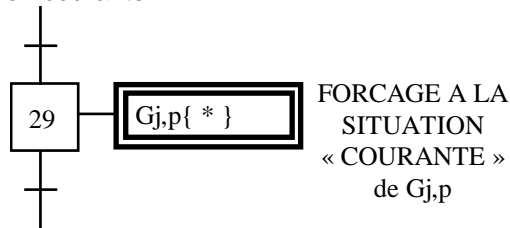


Figure 43 : forçage à la situation courante

3. ENCAPSULATION

Un ensemble d'étapes peut être encapsulé par une étape encapsulante. Si et seulement si cette étape encapsulante est active, l'une au moins des étapes encapsulées est active. La structuration d'un grafcet global peut ainsi être réalisée par des liens d'encapsulation (figure 44).

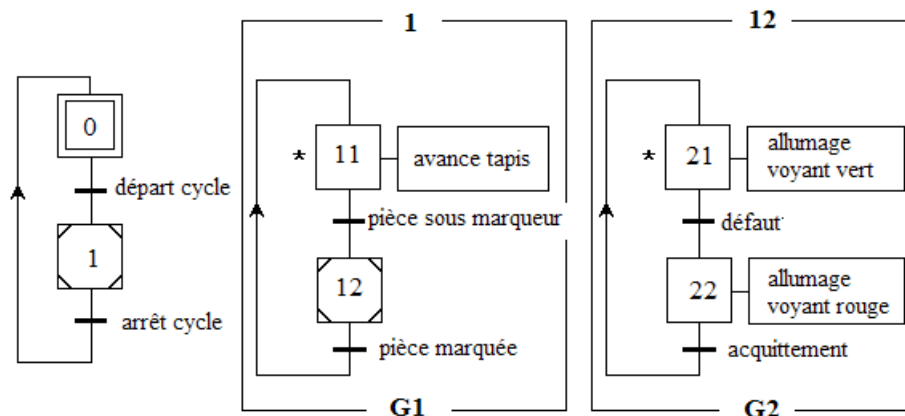


Figure 44 : Encapsulation

L'astérisque placé à côté de l'étape 11 de l'encapsulation indique l'étape qui sera activée au même instant que l'étape encapsulante 1. Une encapsulation peut contenir une étape encapsulante (l'étape 12 dans l'exemple ci-contre).

Une encapsulation peut être désignée par le symbole $X^*/G\#$ ($X1/G1$ pour l'exemple figure 2-51), ce dernier représente la désignation *globale*.

La désignation *élémentaire* permet de désigner une suite hiérarchique d'étapes encapsulées les unes dans les autres. $X1/X12/X21$ désigne l'encapsulation de l'étape 21 dans l'étape 12, elle-même encapsulée dans l'étape 1.

Une étape encapsulante peut également être initiale, alors si tel est le cas, une au moins des étapes encapsulées doit aussi être initiale.

2.3. RECOMMANDATIONS PEDAGOGIQUES

Certaines notions de la norme sont relativement complexes pour des étudiants de BTS, il est prudent d'éviter leur utilisation lors des épreuves d'examen. La notion d'encapsulation notamment, qui permet de structurer le grafcet en fonction des modes de marche et d'arrêt, peut certainement être présentée aux étudiants lorsque les circonstances s'y prêtent, mais ne devrait pas être évaluée au niveau du BTS.

3. EXEMPLES

3.1. Etude du dégrilleur d'une usine d'eau potable

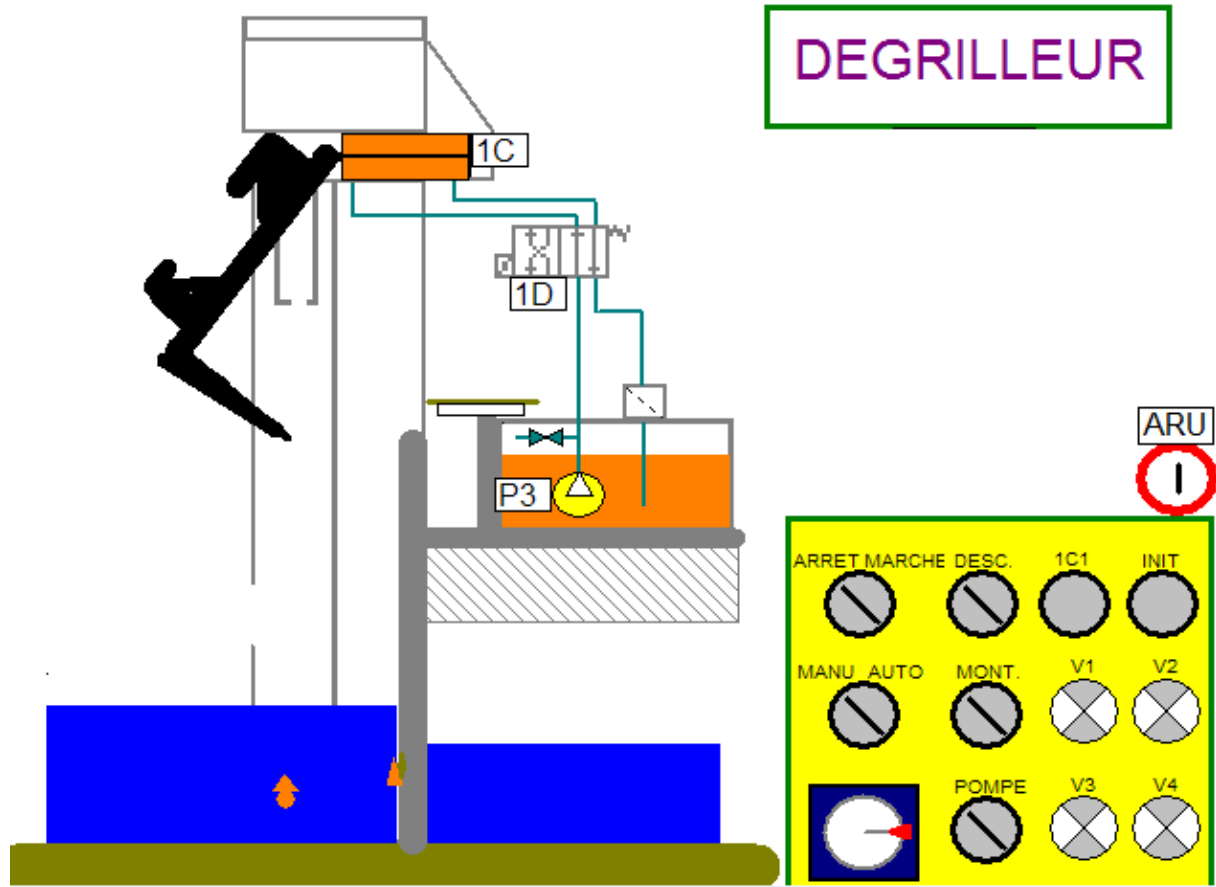


Figure 7

(Exercice extrait du CD-rom « AÏDA » - Editions CEPADUES)

DESCRIPTION FONCTIONNEMENT

Le système fonctionne suivant le cycle d'une horloge en mode automatique si les commutateurs respectifs sont sur la position Marche et la position Auto, suivant les quatre étapes ci-dessous :

A) DESCENTE : Le râteau est en position haute, et relevé. Un ordre de mise en marche par horloge provoque l'alimentation du moteur, celui-ci tourne dans le sens descente ; le râteau descend au bas de la grille et actionne les fins de course.

B) FERMETURE : En fin de descente un ressort calibré inox déclenche le mécanisme de fermeture du râteau et maintien l'appui du râteau sur la grille.

C) MONTEE : Le moteur de nouveau alimenté, actionne l'ensemble du treuil et le râteau remonte en nettoyant la grille.

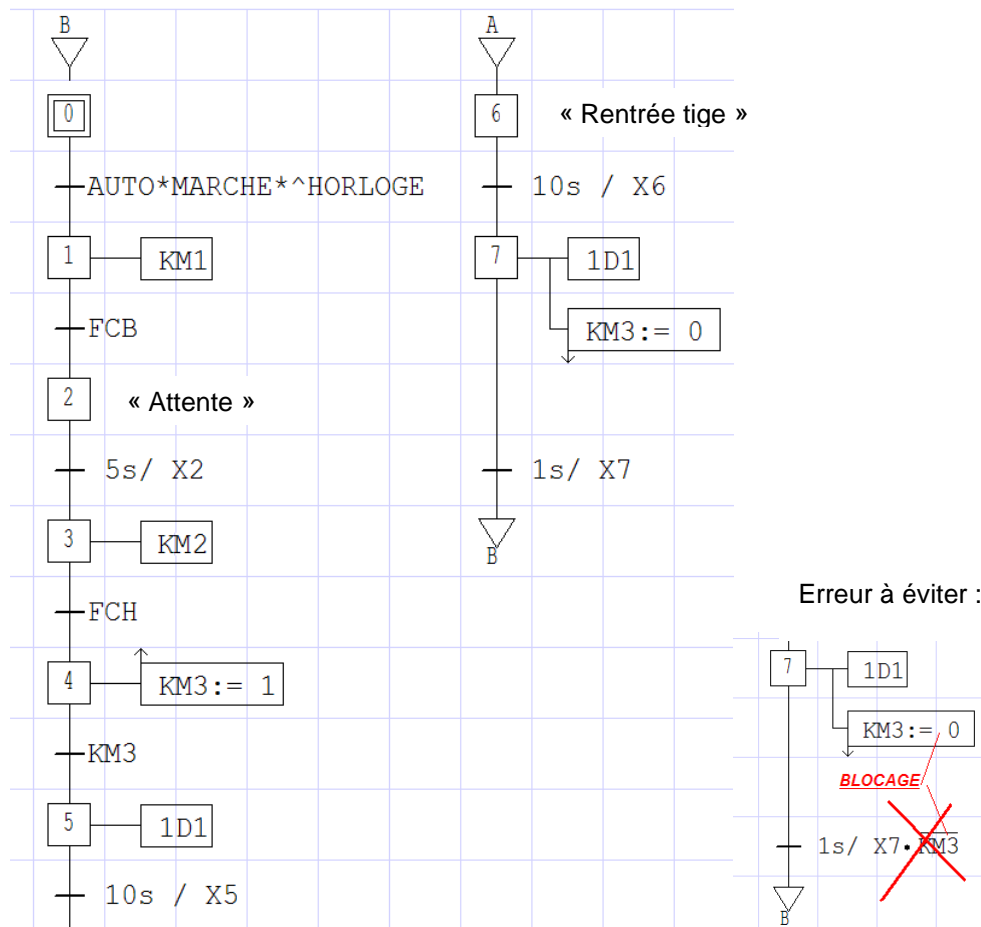
D) EVACUATION DES REFUS ET OUVERTURE DU RÂTEAU :

En fin de montée, le galet Nylon vient se placer en avant de la chape ouverte du vérin. Le vérin est alors actionné côté fond, sa chape s'engage dans le galet et actionne le racleur qui éjecte les déchets. Le vérin alimenté côté tige provoque alors le mouvement inverse qui par butée du racleur sur les bras du râteau amène celui-ci dans sa position relevée ou il se verrouille.

Le vérin alimenté un court instant côté fond, dégage alors la chape du galet.

Le fonctionnement du vérin est commandé par la centrale hydraulique et son distributeur. L'ensemble du cycle de fonctionnement du vérin est déclenché par le fin de course fch.

Le grafcet d'un point de vue Partie Commande est le suivant :



3.2. SUJET BTS 2004 CORRIGE

La qualité et la propreté jouent un rôle primordial dans une entreprise d'élaboration de produits alimentaires à base d'excédents des levures issues de brasseries. La présence d'une unité de nettoyage en place (NEP) se révèle indispensable et permet d'éliminer les traces de produit et autres contaminants dans les cuves et dans la tuyauterie, par circulation de diverses solutions, sans démontage, ni lavage manuel des appareils.

Ces solutions de nettoyage sont issues de trois produits : soude, acide nitrique et peroxyacide ou désinfectant bactéricide.

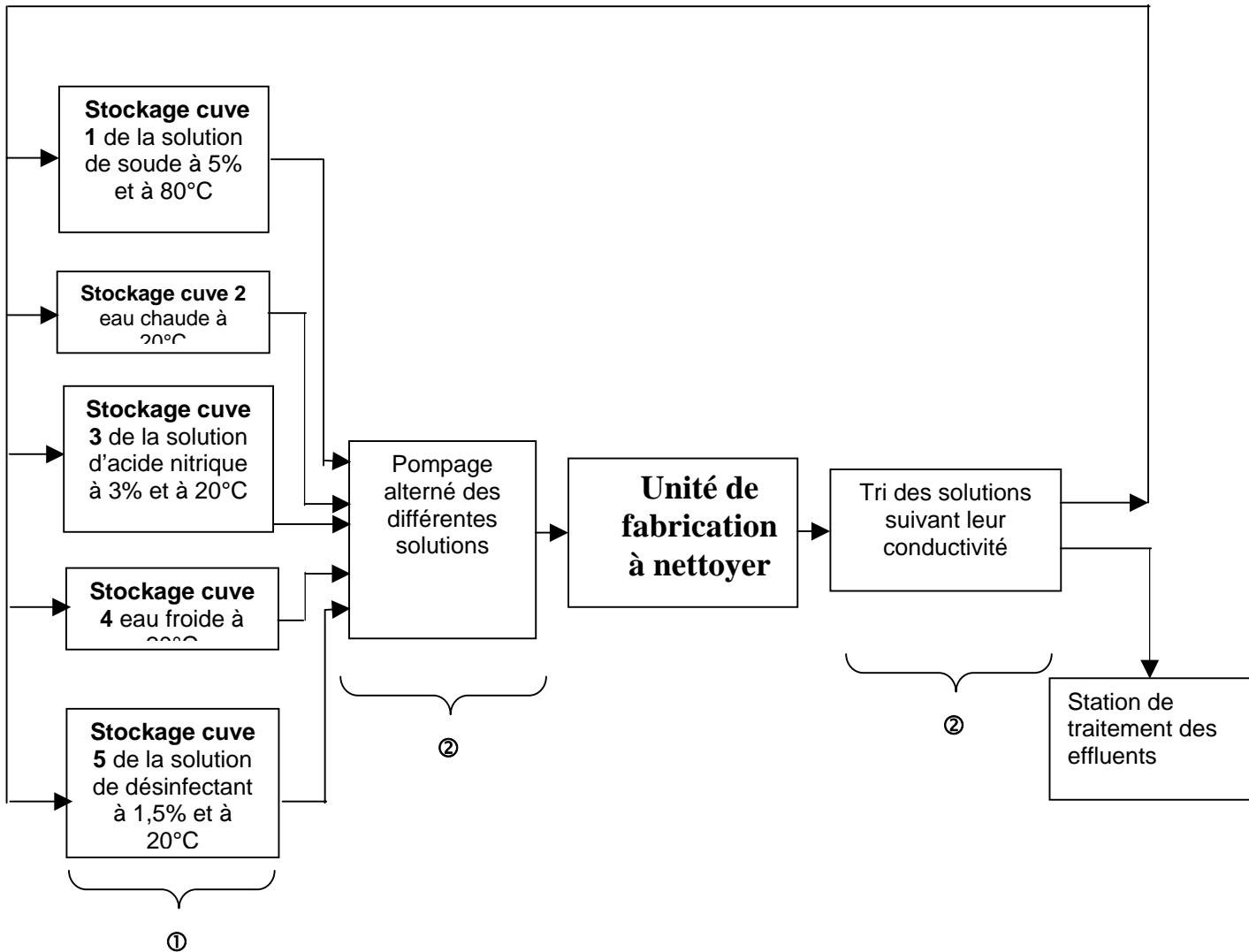
L'automatisation de cette installation est réalisée par un API ainsi qu'un pupitre opérateur utilisé par le technicien de fabrication.

Cette station se décompose en deux parties :

-① le **stockage** et la préparation (non étudiée dans le sujet) des solutions actives à des températures et concentration imposées :

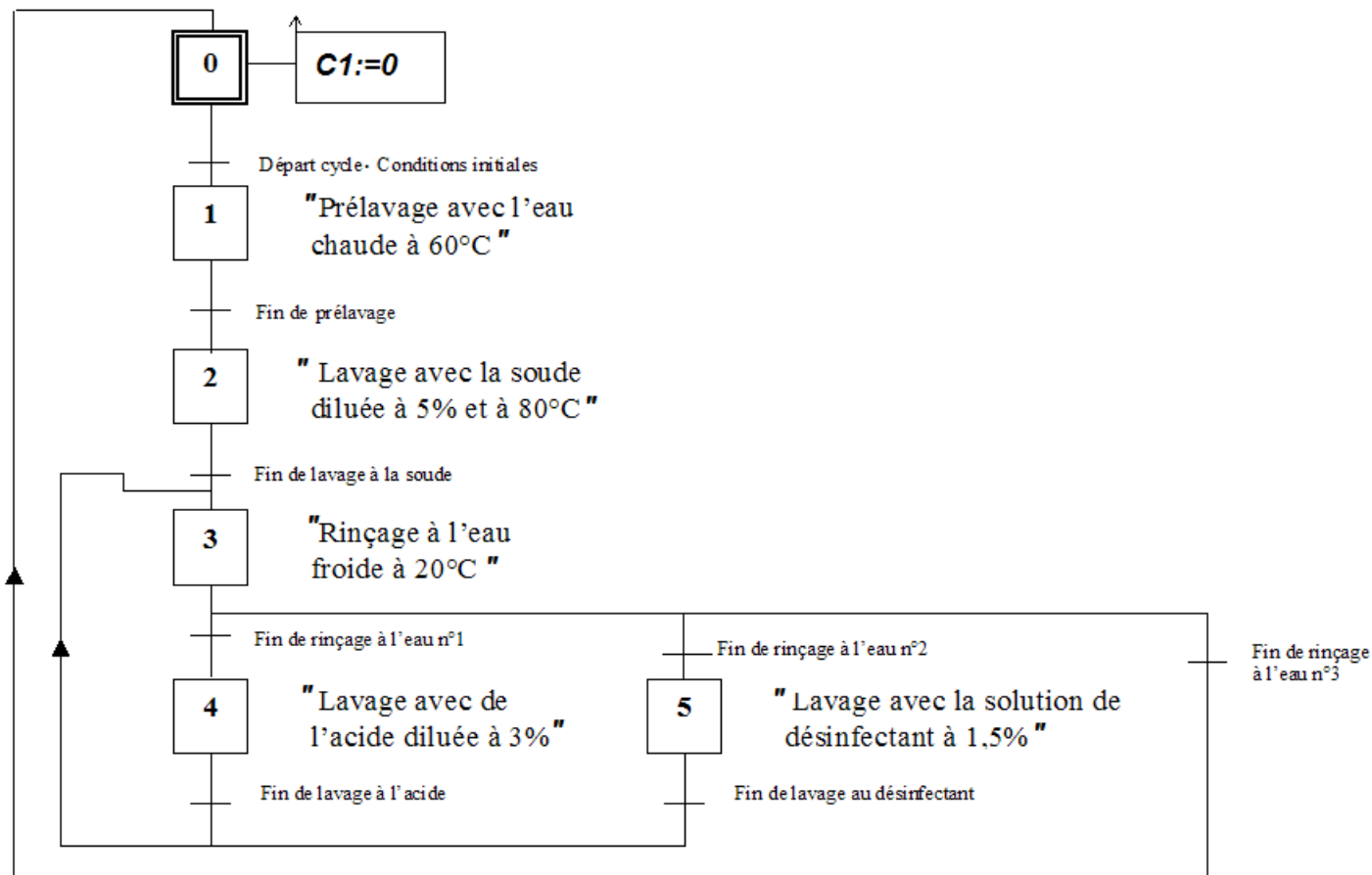
SOLUTIONS	CONCENTRATION	TEMPERATURE	SEUILS DE CONDUCTIVITE
Solution d'acide nitrique	3%	20°C	SLCA
Solution de soude	5%	80°C	SLCS
Solution de désinfectant	1,5%	20°C	SLCD
Eau		20°C	SHCE

-② la **circulation** dans l'unité de fabrication et la **récupération** ou l'**évacuation** des solutions suivant leur conductivité et en respectant le cycle décrit par le **grafcet de coordination (GC)**.
 Voir le schéma TI de cette partie page 9.



Le cycle complet d'un nettoyage de l'unité de fabrication est décrit :

- par le **grafcet de conduite des tâches** de la station de nettoyage (GC) ci dessous :



- par les chronogrammes (à compléter) représentant la succession des produits utilisés ainsi que l'évolution de leur conductivité. Voir **document réponse n° 1 page 10**.

Un volume de 2 000 litres de chaque produit, injecté dans l'unité de fabrication, est contrôlé par comptage des impulsions émises par le débitmètre FT.

Description de la tâche de lavage à la soude diluée :

Lors de l'appel de la tâche par GC et à condition que le niveau de solution soit suffisant et que la température soit atteinte, on procède au sous tirage de cette solution.

Suite à l'ouverture de la vanne de sous tirage, le tri de la solution de reflux s'effectue grâce au conductivimètre CT : tant que le seuil minimal (SLCS) de conductivité de la solution de soude n'est pas franchi, la solution est récupérée sinon elle est rejetée.

Le sous tirage et le tri se poursuivent tant que le volume de 2 m³ n'est pas atteint.

Description de la tâche de rinçage à l'eau froide :

A chaque appel de la tâche par GC et à condition que le niveau d'eau soit suffisant, on procède au sous tirage. L'éventuelle récupération de l'eau de rinçage sera en fonction du seuil de conductivité maximale de l'eau. Dès que la conductivité de l'eau propre est passée au dessous du seuil maximal (SHCE), l'eau de rinçage est récupérée. L'opération de rinçage se termine lorsqu'un volume de 2 m³ a transité par l'unité de fabrication.

La synchronisation entre les tâches et le grafcet de conduite est assurée par les variables étapes notées **X_i avec i n° de l'étape**.

QUESTION 1 :

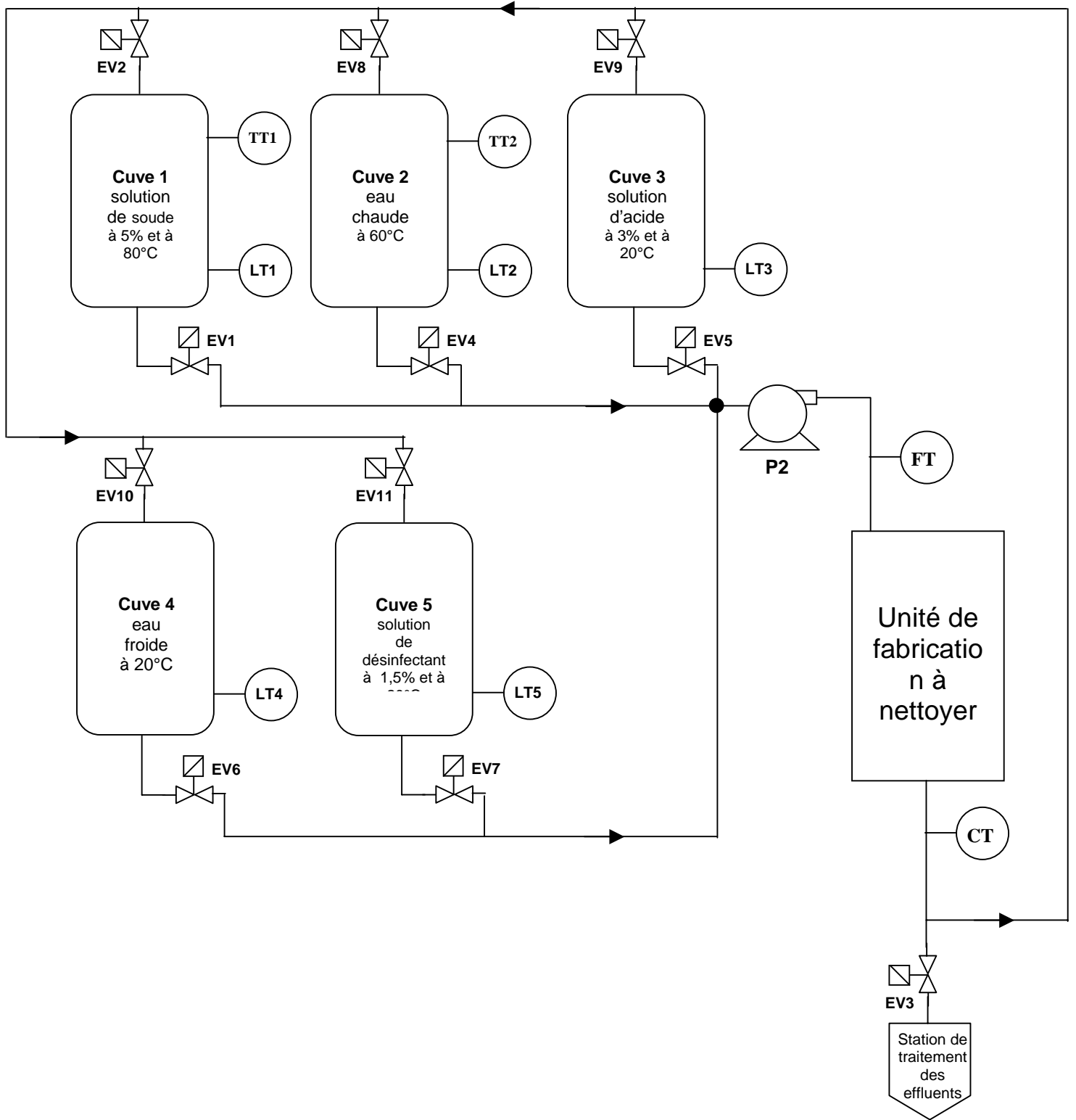
- 1-1) En utilisant le tableau des variables ci dessous et en choisissant l'étape 30 comme étape initiale, écrire le grafcet d'un point de vue commande de la **tâche de rinçage à l'eau froide** (GRE).

Tableau des variables

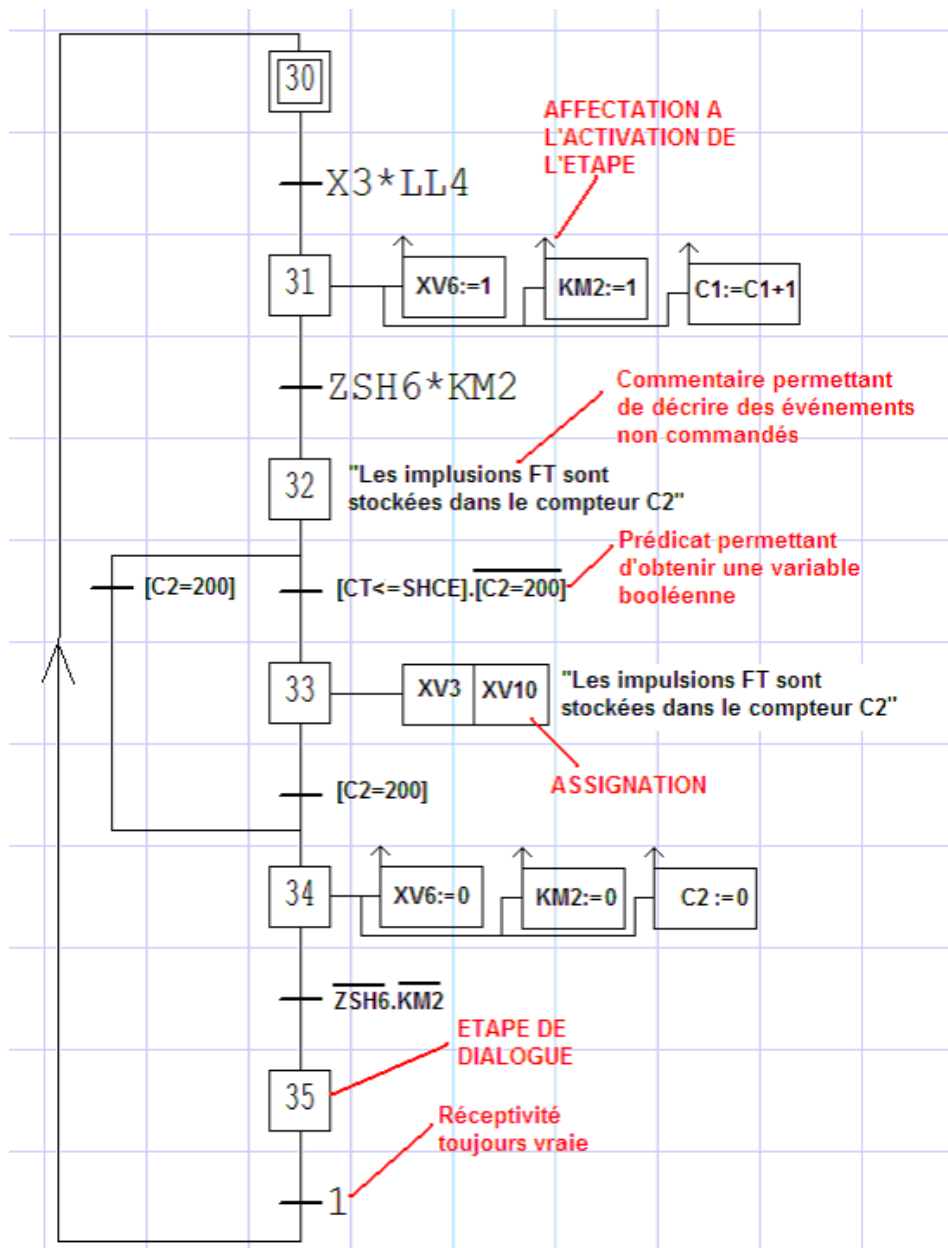
Variable	Type	Fonction
ZSH1	Entrée TOR API	Fin de course vanne de sous tirage de la soude diluée EV1 ouverte. Contact TOR NO.
ZSH6	Entrée TOR API	Fin de course vanne de sous tirage d'eau froide EV6 ouverte Contact TOR NO.
FT	Entrée TOR API	Impulsion délivrée à chaque passage de 10 litres dans le débitmètre.
LL1	Entrée TOR API	Capteur de niveau de soude. Contact TOR NO.
LL4	Entrée TOR API	Capteur de niveau d'eau froide. Contact TOR NO
TT1	Entrée analogique API	Mesure de température de soude (80°C)
CT	Entrée analogique API	Mesure de conductivité
XV1	Sortie TOR API	Electrovanne de sous tirage de la soude NF
XV2	Sortie TOR API	Electrovanne de récupération de la soude NF
XV3	Sortie TOR API	Electrovanne de rejet des solutions NO
XV4	Sortie TOR API	Electrovanne de sous tirage de l'eau chaude NF
XV5	Sortie TOR API	Electrovanne de sous tirage de l'acide NF
XV6	Sortie TOR API	Electrovanne de sous tirage de l'eau froide NF
XV7	Sortie TOR API	Electrovanne de sous tirage du désinfectant NF
XV8	Sortie TOR API	Electrovanne de récupération de l'eau chaude NF
XV9	Sortie TOR API	Electrovanne de récupération de l'acide NF
XV10	Sortie TOR API	Electrovanne de récupération de l'eau propre NF
XV11	Sortie TOR API	Electrovanne de récupération du désinfectant NF
KM2	Sortie TOR API	Contacteur de commande de la pompe de sous tirage
C1	Fonction interne API	Compteur de cycle de rinçage à l'eau froide
C2	Fonction interne API	Compteur d'impulsions du débitmètre

La mesure de conductivité CT permet de recycler les produits encore utilisables afin de limiter les rejets vers la station de traitement. Pour ce faire, on la compare à différents seuils selon le produit mesuré :

- SHCE : seuil de conductivité maximum de l'eau,
- SLCA : seuil minimal de conductivité de solution acide,
- SLCD : seuil minimal de conductivité de solution désinfectante,
- CLCS : seuil minimal de conductivité de solution de soude

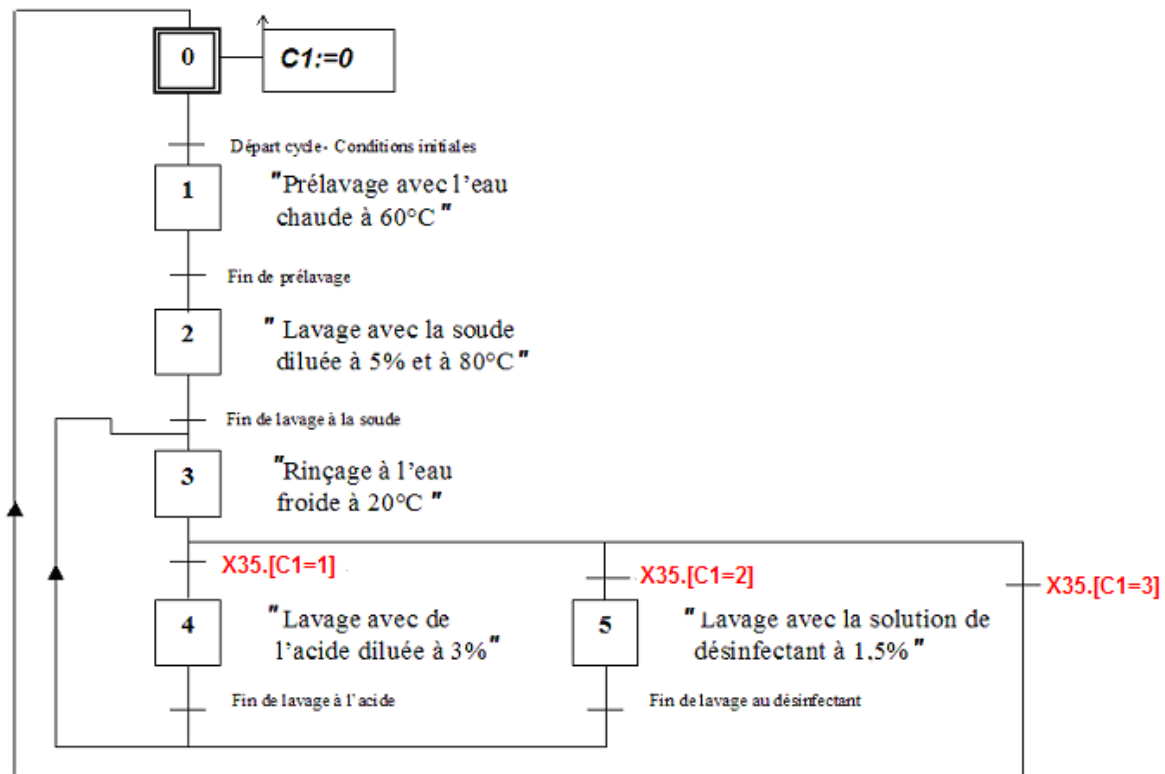


Le grafcet selon un point de vue partie commande peut prendre la forme ci-dessous :



Il est important de remarquer que le grafcet ci-dessus ne fait jamais appel à des variables générées par l'API dans lequel l'application sera programmée ; cela n'enlève rien à sa rigueur ni à sa précision. Nous y avons dit tout ce dont le programmeur va avoir besoin pour réaliser le programme API, sans jamais lui imposer une quelconque solution. Il est temps maintenant de passer à la dernière phase de la conception : **la réalisation**. Cette dernière sera d'autant plus aisée que la spécification aura été rigoureuse dans son écriture. Toutefois, il arrive que le programmeur, sur des systèmes complexes, ne trouve pas de solution satisfaisant le cahier des charges ; il est alors nécessaire de revenir sur la spécification afin d'en vérifier la validité. Cette dernière démarche peut conduire à modifier un cahier des charges trop exigeant ; le dialogue client-concepteur est une nécessité tout au long d'un projet d'envergure, il très largement facilité par l'utilisation de langages précis et normalisés (ou simplement standardisés) comme le GRAFCET, le GEMMA, l'AMDEC et SADT. Outils indispensables et très complémentaires dans la phase conception d'un SAP.

Remarque : à noter que le grafcet GC prendrait la forme suivante en intégrant les données issues de GRE :



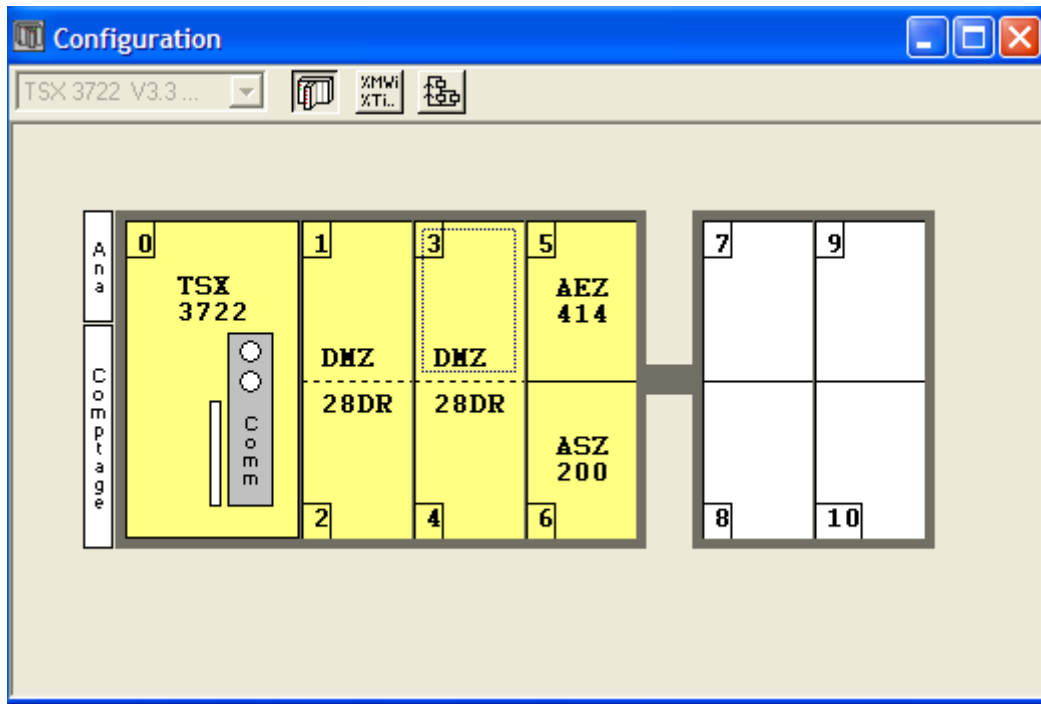
4. DU GRAFCET AU PROGRAMME API

4.1. GENERALITES

Il s'agit maintenant de choisir un API (si ce n'est déjà fait pour des raisons de stratégie commerciale) et une configuration adaptés aux besoins exprimés dans le cahier des charges. Unité centrale, nombre d'E/S, modules de communication,..

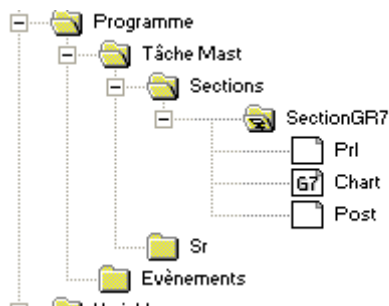
Nous allons voir comment réaliser une partie du programme dans un TSX37 (SCHNEIDER) à l'aide du logiciel PL7pro.

La configuration ci-dessous permet d'utiliser 32 entrées TOR, 24 sorties TOR, 4 entrées analogiques et 2 sorties analogiques.



Le programme est structuré en trois parties essentielles (et des sous programmes « sr » pour des applications complexes) :

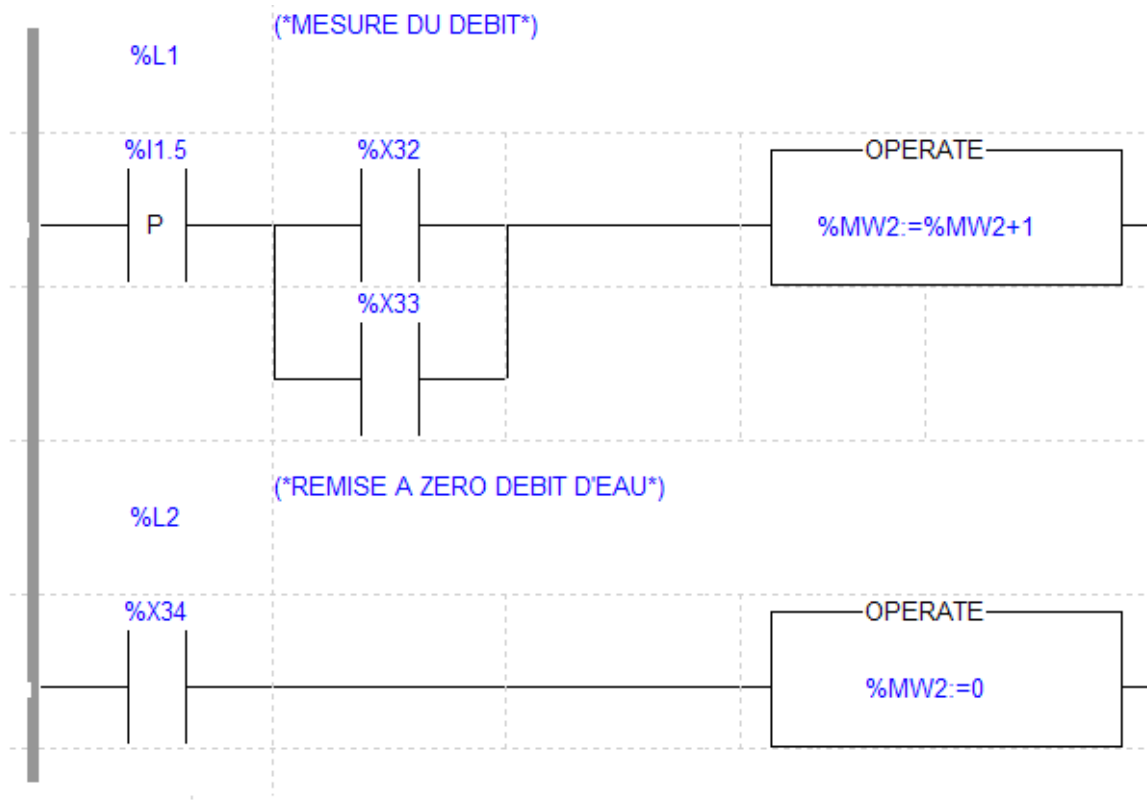
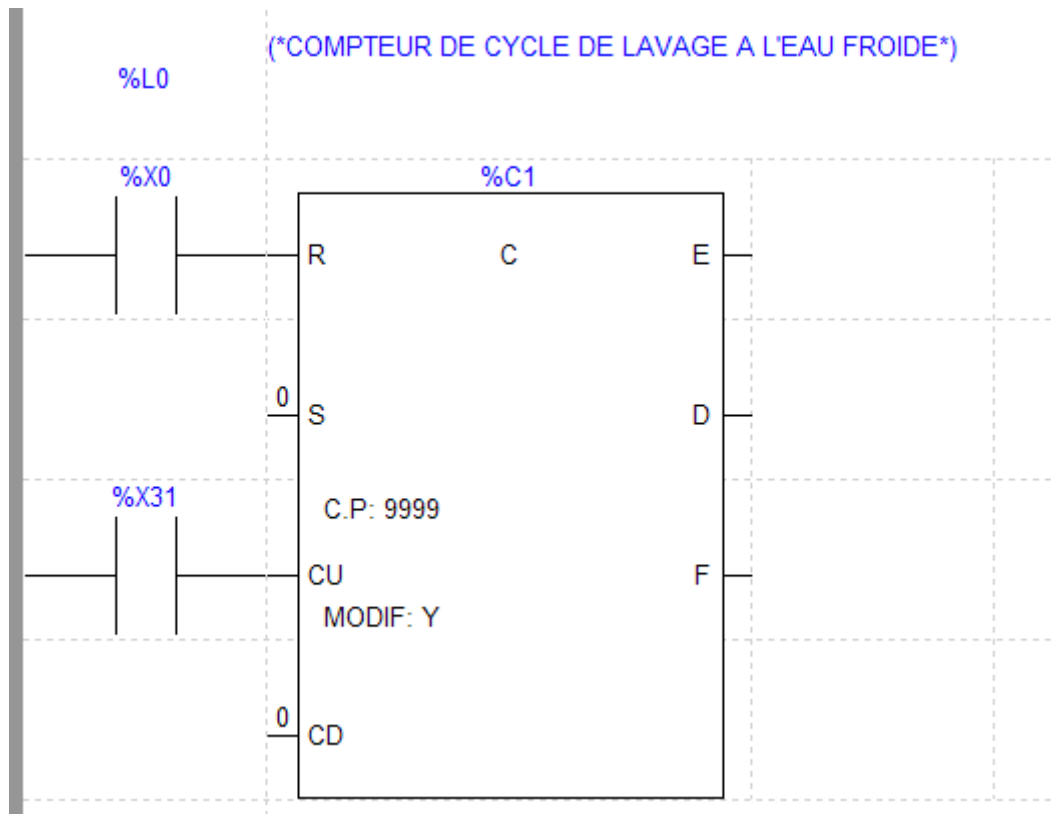
- Le bloc « Prl » qui permet de programmer toutes les variables internes nécessaires au bon fonctionnement du programme
- Le bloc « Chart » qui permet de structurer le programme grâce au langage SFC
- Le bloc « Post » qui permet d'écrire les conditions d'activation des sorties de l'API



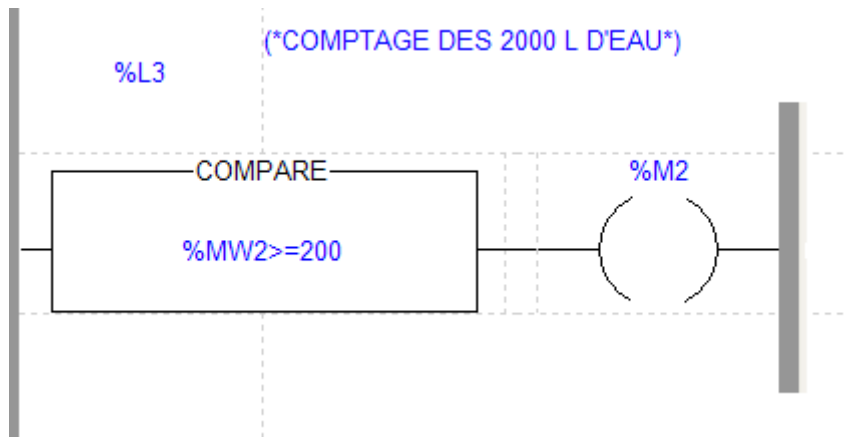
4.2. PROGRAMMATION

Ci-dessous deux solutions programmées différentes pour une même spécification..

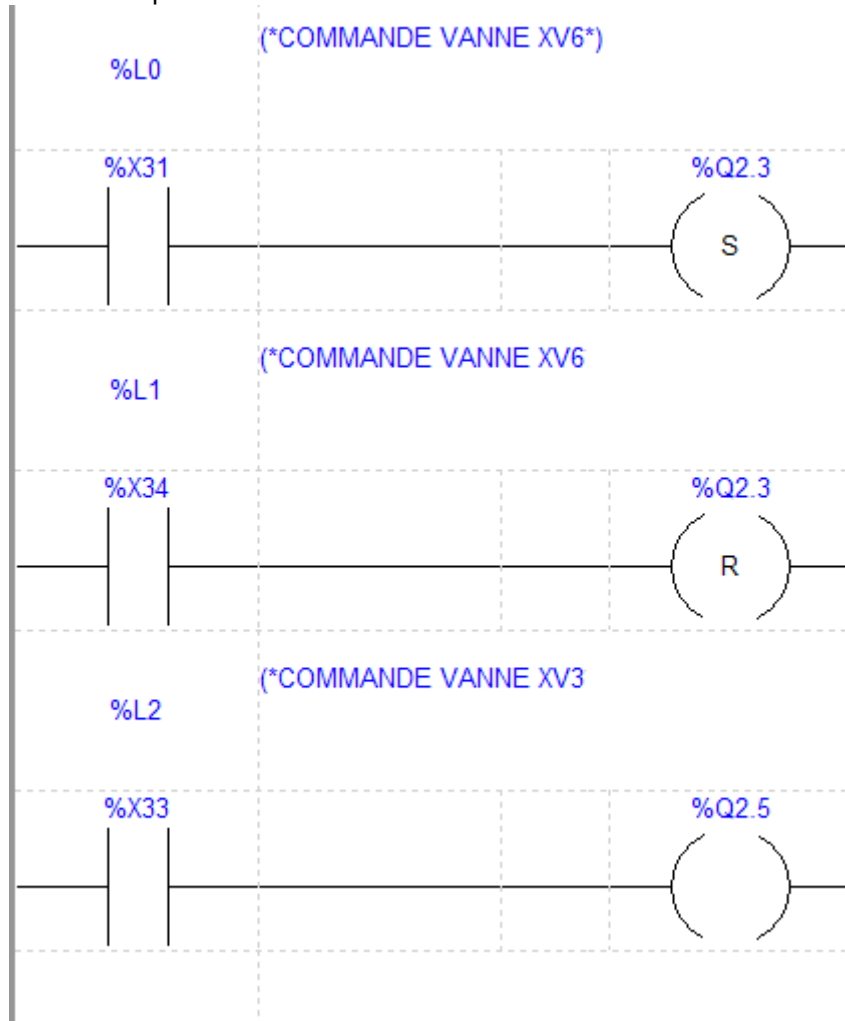
Le programmeur a l'obligation de résultat, mais il peut choisir une solution en fonction des disponibilités des fonctions dans l'API, en fonction de sa culture informatique, en fonction de la qualification du personnel de maintenance...Le GRAFCET de spécification opérationnelle ne lui impose aucune solution.



Le bit interne %M2 permet de réaliser le prédicat [C2=200] pour la réceptivité du SFC programmé dans le bloc « Chart ».



Les affectations du grafcet se traduisent en bobines S/R dans le programme, les assignations par des bobines simples..



4. BIBLIOGRAPHIE

- [BLA.79] « Comprendre, maîtriser et appliquer le GRAFCET », M. BLANCHARD, CEPADUES Editions, Collection Automatisation et Production, 1979,
- [CEI.75] Vocabulaire électrotechnique international, norme internationale CEI 50, 1975, chapitre 351 : commande et régulation automatique ;
- [CEI.88] « Etablissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande / Preparation of function charts for control systems », Norme Internationale / International Standard, CEI/IEC 848, 1988, 99 pages ;
- [CEI 02] « Langage de spécification GRAFCET pour diagrammes fonctionnels en séquence », Norme Internationale / International Standard, CEI/IEC 60848, 2002, 94 pages.
- [GRE.85] « Le GRAFCET : de nouveaux concepts », GREPA, CEPADUES Editions, Collection Automatisation et Production, Décembre 1985.
- [MON.83] « Monographie des travaux sur le GRAFCET depuis la Norme C03-190 », Chapitre 1 : « Les interprétations algébriques et algorithmiques et les temporisations du GRAFCET », Document de synthèse proposé par le groupe « Systèmes logiques » de l'AFCEC, Montpellier, Juin 1983.
- [NFC.82] « Diagramme fonctionnel GRAFCET pour la description des systèmes logiques de commande », Norme Française NF C03-190, UTE, Juin 1982, 30 pages .
- [NFE.93] « Automates programmables - Partie 3 : Langages de programmation », Norme Française et Norme Européenne NF EN 61131-3, CENELEC ; Version française de la norme CEI/IEC 1131-3, Juillet 1993, 202 pages.
- [UTE.93] « Établissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande - Diagramme fonctionnel GRAFCET. Extension des concepts de base » Documentation de référence (Documentation et symboles graphiques) UTE C03-191, Juin 1993, 35 pages.
- [GEN 02] « Les 7 facettes du GRAFCET », D. GENDREAU, CEPADUES Editions, mise à jour 2005, 167 pages. (<http://www.cepadues.com>)
- [DAV89] « Du GRAFCET aux réseaux de Petri », R DAVID et H. ALLA, HERMES Editions, 419 pages. (<http://www.hermes-science.com/fr/>)
- [TEC04] revue « Technologies & Formations », PYC Editions (<http://www.pyc.fr>)

SITE INTERNET INCONTOURNABLE : http://www.lurpa.ens-cachan.fr/grafcet/grafcet_fr.html

Jean-Bernard DELUCHE
Lycée Raoul DAUTRY LIMOGES
Faculté des Sciences & Techniques LIMOGES
Animateur du groupe « COSED & ENSEIGNEMENT »
Jean-bernard.deluche@unilim.fr