

PARTIE B : STRUCTURE DES GRAFCETS

IV. NECESSITE D'UNE DEMARCHE

La partie A, consacrée à la connaissance de base du Grafcet et des éléments technologiques indispensables pour le mettre en oeuvre, a notamment défini sa syntaxe. Selon le niveau de précision recherché, selon qu'il s'agit du modèle ou du langage, plusieurs notations pour un même comportement sont requises. L'un des objectifs de cette deuxième partie est de montrer qu'en plus de la syntaxe, c'est la structure même des grafcets qui peut avantageusement être considérée sous des points de vue différents.

1 - L'EXPRESSION DU BESOIN

Les biens de consommation sont souvent fabriqués par des machines automatiques selon le besoin exprimé par l'utilisateur (ou stimulé si le besoin n'apparaît pas d'une manière spontanée). On distingue d'une part les producteurs de biens de consommation et d'autre part les producteurs des machines qui servent à fabriquer ces biens. Les premiers sont des entreprises spécialisées dans les procédés mais ne réalisent en général pas leurs machines. Celles-ci sont en outre souvent trop spécialisées pour pouvoir être trouvées toutes faites dans des catalogues. Les fabricants des machines spéciales répondent donc également à un besoin, celui exprimé par l'entreprise qui produit les biens de consommation (figure B-1). Nous ne nous intéresserons qu'à la construction de ces machines.

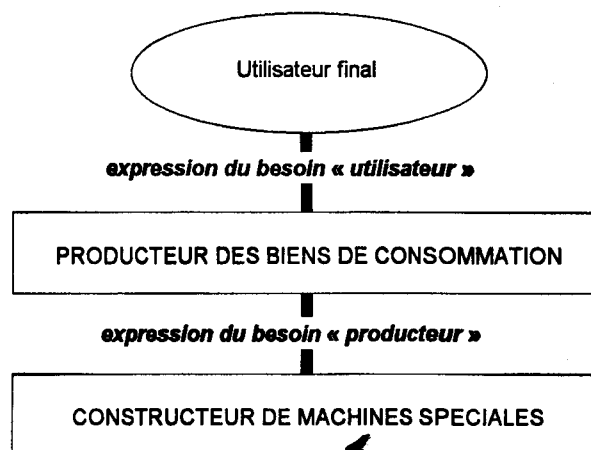


figure B-1

2 - LE CYCLE DE VIE D'UN SYSTEME

2 - 1. Conception et réalisation

Sur la figure B-2, l'axe des abscisses représente l'évolution du temps. L'axe des ordonnées représente le niveau de finesse de l'étude : vers le haut, on considère le système le plus globalement possible, c'est à dire en terme de fonction à réaliser et non en terme de technologie. Vers le bas, cet axe précise de plus en plus les solutions technologiques choisies. Lors de la phase de conception, l'analyse du système se fait en partant de l'aspect global et se poursuit progressivement selon les choix retenus (on parle d'analyse descendante), c'est la procédure C. La procédure R montre que la réalisation se fait quant à elle en commençant par des éléments de détail et se poursuit en intégrant progressivement ces éléments unitaires pour aboutir au système complet, prêt à la mise en exploitation.

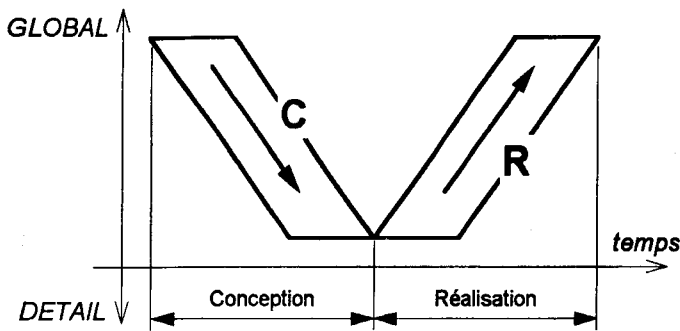


figure B-2

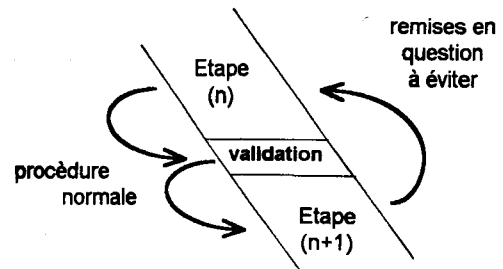


figure B-3

2 - 2. Les validations successives

La phase de conception est régulièrement ponctuée de validations qui consistent à faire le point sur l'état d'avancement du projet (figure B-3). Des décisions théoriquement irrévocables sont alors discutées, formulées et adoptées par les personnes, services ou entreprises qui collaborent au projet. Le principe de cette démarche consiste à ne pas remettre en cause ces décisions par la suite. En effet, les hésitations qui peuvent se produire lors d'un projet mal géré entraîneront inévitablement des modifications dans les travaux déjà entrepris et donc une forte et inutile augmentation du coût de la réalisation. Par ailleurs, la modularité en termes de structure et de tâche permet de préparer puis de tester séparément des sous-ensembles avant de les assembler.

2 - 3. La cohérence du projet

Le travail réalisé puis validé à l'étape $R_{(n)}$ (figure B-4) doit correspondre aux décisions prises à l'issue de l'étape $C_{(n)}$ avant d'être poursuivi. Ainsi de suite jusqu'en $R_{(finale)}$. Lors de la mise en exploitation du système, si cette démarche a été suivie, le fonctionnement global et complet est conforme aux prescriptions du cahier des charges.

En pratique, les impératifs quotidiens (délais en particulier) ne permettent pas toujours de respecter cette démarche. Par ailleurs, la création intellectuelle ne fonctionne pas en ligne droite. Elle suit un cours labyrinthique, où l'intuition joue un rôle prédominant. Il est d'autant plus important d'essayer de suivre, au moins dans les grandes lignes, une démarche rigoureuse. Les étapes de validations doivent donner au projet toute sa cohérence.

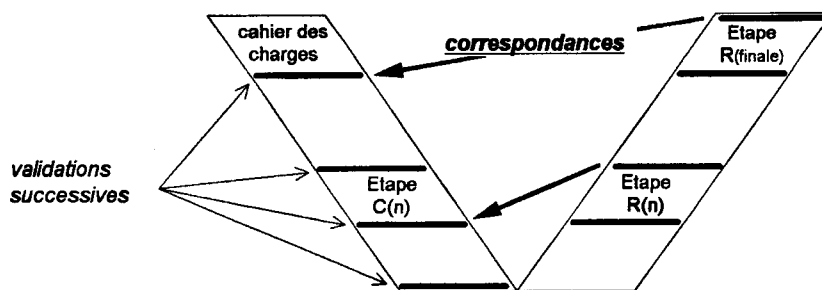


figure B-4

2 - 4. Synchronisation des métiers

La conception et la réalisation du système concernent plusieurs familles de métiers, en particulier ceux qui traitent la partie opérative et ceux qui traitent la partie commande. L'avancement harmonieux du projet ne peut se faire qu'en menant ces deux études de front, aussi représente-t-on souvent le cycle de vie d'un système comme sur la figure B-5. On

intègre également dans ce cycle la phase essentielle d'*exploitation*, qui consiste en l'utilisation pour laquelle le système a été construit, ainsi que les modifications et évolutions qui ne manqueront pas d'être indispensables. De même, la maintenance préventive fait partie intégrante de la vie du système et doit être parfaitement planifiée dès sa conception.

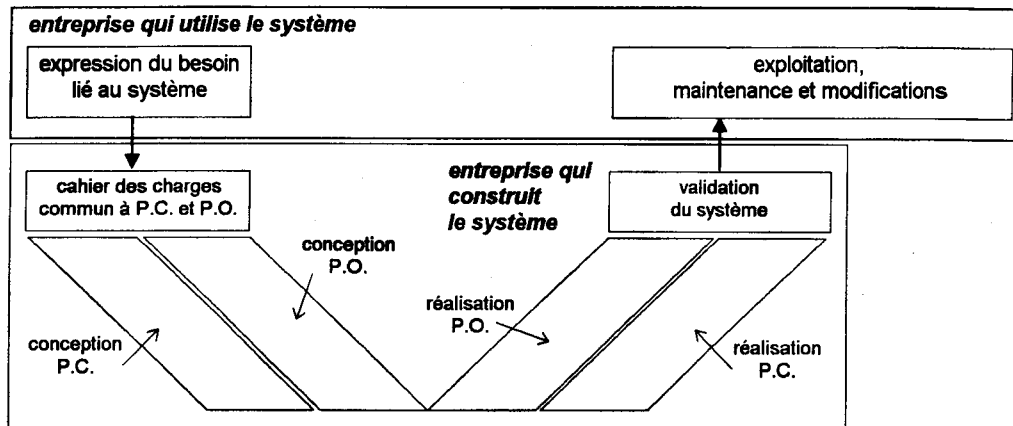


figure B-5

3 - CONSTRUCTION DE GRAFCETS

3 - 1. Avec ou sans méthode

Il est parfaitement possible de construire les grafquets d'une manière intuitive en commençant par représenter la ou les étapes initiales. Les étapes sont tracées au fur et à mesure du déroulement de la séquence que l'on souhaite modéliser. Si l'enchaînement des actions est facile à prévoir, le résultat est probablement correct et exploitable. Un problème plus ardu nécessitera plusieurs essais, des ratures, la modification de certains passages, mais le résultat peut rester bon. Il arrive cependant qu'on souhaite que le système puisse enchaîner des actions dans un ordre moins facilement prévisible, ou que l'on attende du système une très grande souplesse dans son comportement. La maîtrise d'une méthode de travail est alors souhaitable. Elle doit nous conduire à des grafquets de qualité, ayant certaines propriétés pour être efficaces :

- *permettre évidemment un fonctionnement sans ambiguïté,*
- *être de lecture claire,*
- *avoir des équations simples au niveau des réceptivités,*
- *garantir une programmation sûre et aisée.*

3 - 2. Fonctions

L'énoncé du cahier des charges technique reflète en premier lieu le besoin du fabricant en terme de finalité. Il exprime la fonction principale à assurer par le système (poinçonner et cisailer les flans, assembler les interrupteurs, trier les roues selon leur diamètre, etc.)

Des fonctions contraintes doivent également être assurées. Il s'agit dans tous les cas de la prise en compte de la sécurité : arrêt d'urgence, protection des personnes (portes d'accès avec détecteurs, basse tension pour les constituants de dialogue, etc.) et du matériel (disjoncteurs, etc.) Des fonctions contraintes supplémentaires peuvent s'imposer :

- les interactions avec un ou plusieurs opérateurs qui agissent manuellement sur le système (car la plupart des machines ne sont pas automatisées à 100%),
- d'autres interactions avec le milieu environnant : fonctions de communication, y compris avec une autre partie commande, fonctions liées aux apports en énergie, etc.

- l'environnement du système : ambiance explosible, températures extrêmes...

3 - 3. Analyse de la structure du système

La décomposition fonctionnelle s'effectue, d'une part, par rapport à la structure du système. C'est le travail de conception mécanique. Le résultat de cette analyse est une liste de solutions techniques qui permettent de définir les types de constituants de la partie opérative : éléments mécaniques, vérins, détecteurs, etc. On s'appuiera ensuite sur cette liste pour procéder aux choix technologiques : élaboration des nomenclatures, des dessins et schémas de réalisation.



figure B-6

La structure est définie par l'ensemble des constituants physiques du système.

3 - 4. Analyse des tâches à accomplir

D'autre part, la décomposition fonctionnelle s'effectue par rapport aux tâches à réaliser. C'est le domaine des automatismes. Les solutions techniques s'exprimeront alors en termes d'actions : autant physiques (rotation de moteurs, avance de tiges de vérins, etc.) qu'informationnelles (traitement de données, dialogues, etc.) La particularité des actions par rapport aux constituants étant qu'il faut les synchroniser dans le temps et non les agencer dans l'espace.

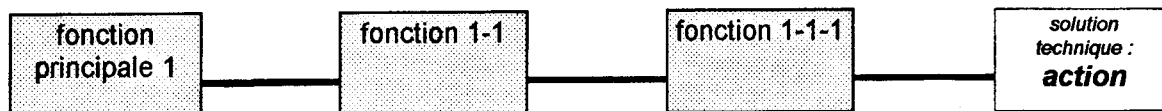


figure B-7

L'analyse permet d'affecter chaque action au niveau fonctionnel le mieux adapté. Les paragraphes ci-dessous généralisent cette notion.

3 - 5. Relation entre fonctions, tâches et actions

- On peut décider que chaque action est associée à une tâche au niveau le plus fin.

Le rôle du grafcet lié à la fonction 1-1 (figure B-8 et figure B-9) est alors la coordination des tâches élémentaires. Il organise la chronologie d'exécution des actions qui leur sont associées.

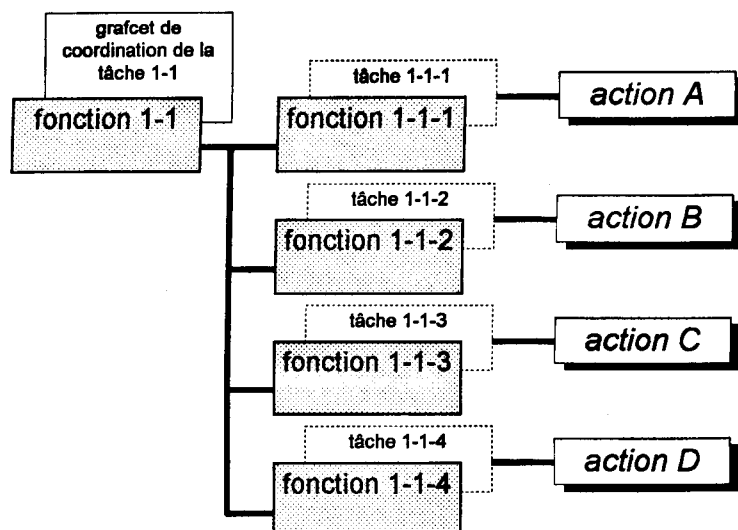


figure B-8

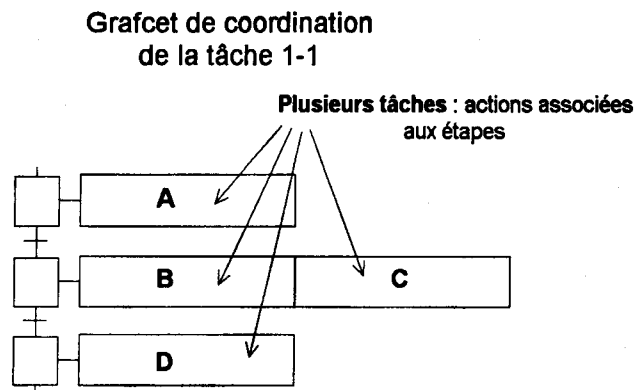


figure B-9

• A l'inverse, toutes les actions peuvent être regroupées en une seule tâche, celle qui réalise la fonction principale (figure B-10 et figure B-11). Le panachage de ces deux procédés est possible si le problème le justifie.

D'ailleurs, dans les automatismes séquentiels, on rencontre très souvent le cas de séquences figées qui sont composées d'une succession indissociable d'actions. Exemple, la saisie d'une pièce par une pince de manipulateur :

- ⇒ avancer la pince,
- ⇒ fermer la pince / desserrer la pièce,
- ⇒ reculer la pince.

Il est alors inutile de pratiquer la décomposition fonctionnelle jusqu'à isoler chacune de ces actions. La plus détaillée des fonctions peut se limiter à l'expression du geste global *saisir une pièce*.

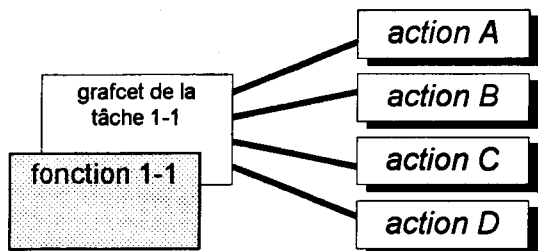


figure B-10

Un grafcet décrira globalement cette fonction comme le montre la figure B-11, qui doit être comparée à la figure B-9.

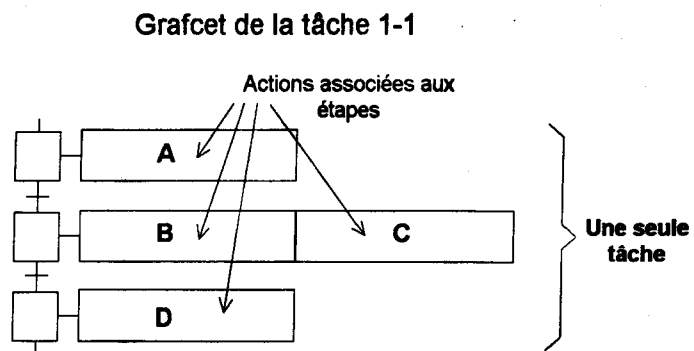


figure B-11

3 - 6. Diagramme général

Selon l'objectif de l'analyse, il est possible de combiner ces différentes approches. Le diagramme de la figure B-12 représente une configuration type qui fait intervenir les différentes possibilités de relations entre les fonctions, les tâches, les grafkets de coordination de tâches ou grafkets de tâche, et les actions.

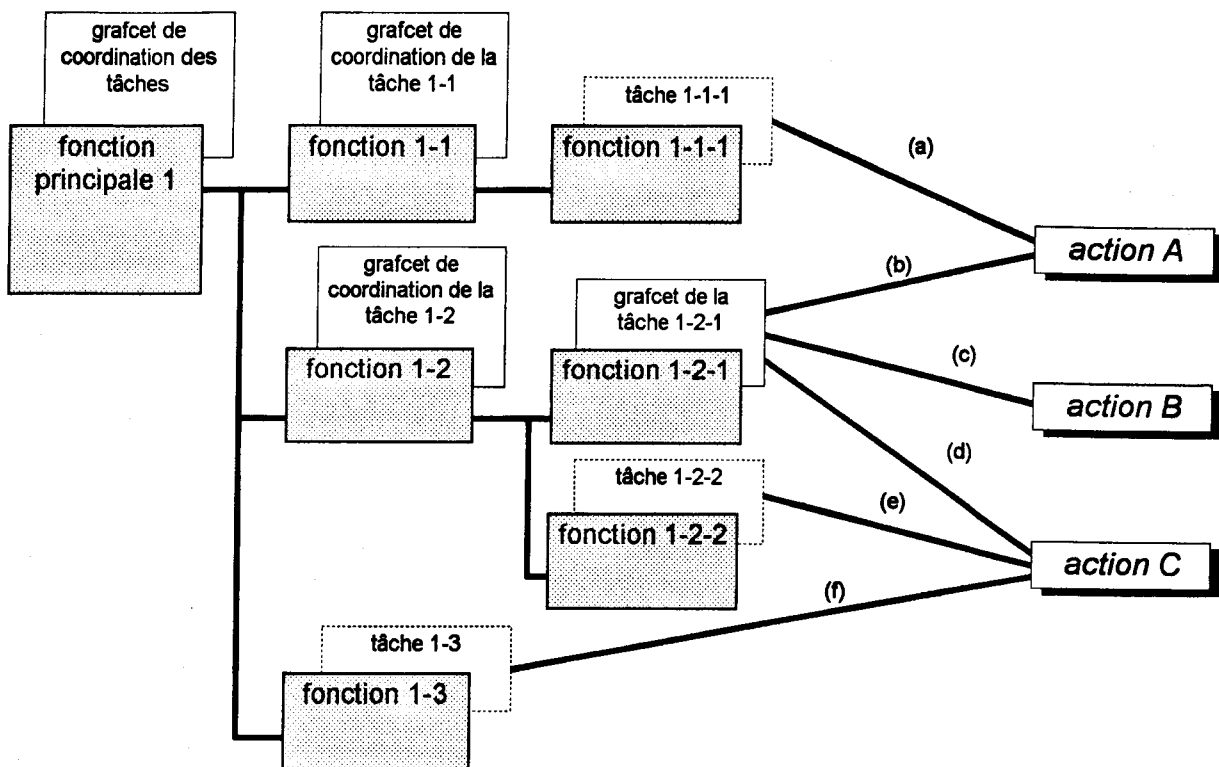


figure B-12

- **Relation (a)**

l'action A est associée à une étape du grafcet de coordination de la tâche 1-1, et est définie de manière précise par une fonction de niveau inférieur (tâche 1-1-1)

- **Relation (b)**

l'action A est directement associée à une étape du grafcet de la tâche 1-2-1

- **Relations (b) et (c) et (d)**

la fonction 1-2-1 nécessite 3 actions différentes, coordonnées par le grafcet

- **Relations (d) et (e) et (f)**

l'action C participe à la réalisation de 3 fonctions

3 - 7. Dépendance entre structure et tâche

Nous avons vu que l'analyse des fonctions est faite à la fois du point de vue du concepteur de la partie opérative auquel cas nous étudions la structure du système, et du point de vue de l'automaticien pour l'étude des tâches et de leur coordination. Il arrive que ces deux points de vue coïncident exactement. C'est le cas par exemple de la fonction *réaliser le mouvement de coupe d'une fraise 2 tailles*.

Les solutions techniques des deux points de vue se réfèrent exclusivement à la même idée : la rotation du moteur de broche est nécessaire et suffisante pour créer le mouvement de coupe.

- Solution technique pour la partie opérative : *moteur de broche*,
- Solution technique pour la partie commande : *faire tourner le moteur de broche*.

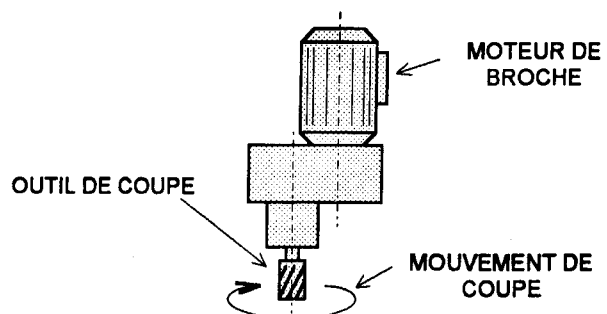


figure B-13 (vue de face)

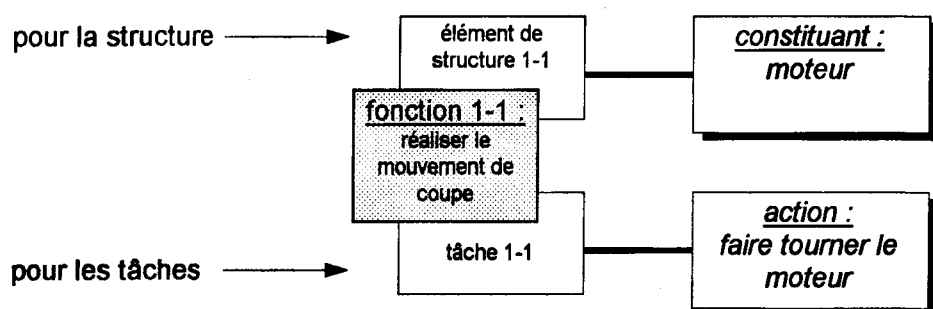


figure B-14

Cette constatation, si elle est interprétée d'une manière superficielle, peut conduire à des conclusions erronées : en particulier, confondre les termes de fonction, structure, constituants, tâche et action. En effet, cet exemple ne représente pas le cas général car très souvent, un même constituant intervient pour réaliser des tâches différentes de même qu'une tâche peut nécessiter plusieurs constituants.

Il faut donc faire une nette distinction entre une analyse de la structure (ou des organes) et une analyse des tâches. L'exemple suivant en donne une illustration.

3 - 8. Indépendance entre structure et tâche

Le poste de perçage de la figure B-15 nécessite, parmi d'autres, les fonctions d'alimentation (avancer simultanément le poussoir et le support) et d'évacuation (retirer le support, reculer ensuite le poussoir). Se référer également à l'exercice *Poste de perçage*.

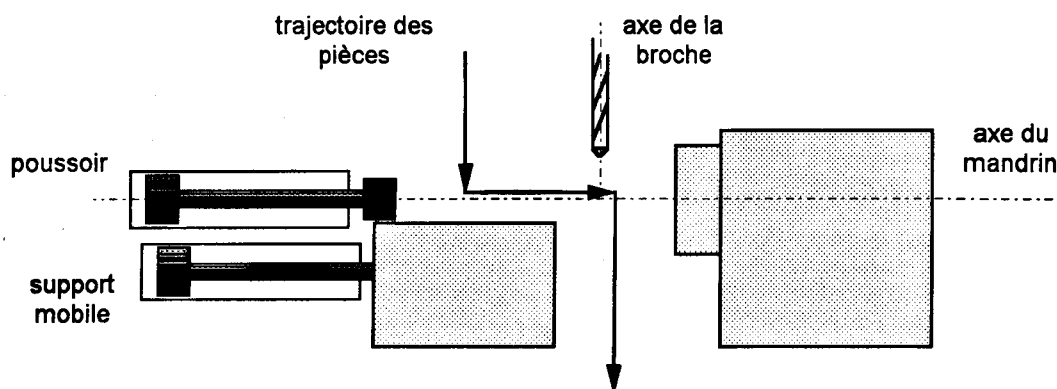


figure B-15 (vue de face)

- Plusieurs constituants pour une tâche

L'évacuation de la pièce se fait par la séquence suivante :

- recul du support mobile (la pièce reste maintenue contre le mandrin),
- recul du poussoir (la pièce tombe dans un bac).

Des actions sur deux constituants différents de la structure sont donc nécessaires pour réaliser une seule et même tâche.

- Un constituant pour plusieurs tâches

A l'inverse, le constituant *poussoir* intervient dans deux tâches :

- tâche alimenter : avance du poussoir (pour positionner et maintenir la pièce contre le mandrin),
- tâche évacuer : recul du poussoir.

Ici, deux actions différentes du même constituant sont sollicitées. Il se peut même qu'une seule action intervienne dans plusieurs tâches comme ci-dessous.

- Une action pour plusieurs tâches

L'exemple qui illustre ce point est extrait du *Poste de triage* du chapitre V :

- des objets cylindriques roulent sur une goulotte,
- il faut soit (a) les élever vers la goulotte supérieure (le clapet se soulève une fois qu'un objet est en place contre celui-ci),
- soit (b) leur permettre de poursuivre sur la goulotte inférieure (le clapet se soulève bien avant le passage de l'objet).

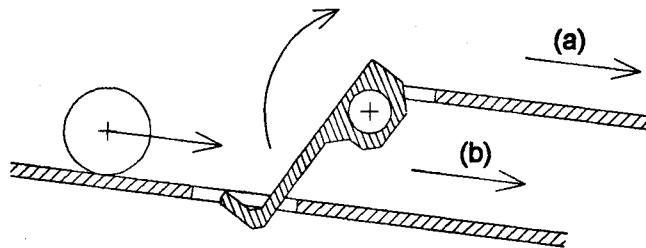


figure B-16 (vue de face)

La levée du clapet intervient bien pour réaliser deux tâches distinctes, la tâche *soulever l'objet* et la tâche *laisser passer l'objet*.

3 - 9. Finesse du grafcet par rapport au cycle de vie

La spécification du système du point de vue de son fonctionnement est réalisée à l'aide du modèle Grafcet. Dans un premier temps, le but du Grafcet est de permettre, grâce à l'outil de communication universel qu'il représente, une bonne compréhension technique entre les différents intervenants. La phase de conception devenant de plus en plus détaillée tout au long de son déroulement, le grafcet de l'application, entièrement détaillé, pourra finalement servir de cahier des charges pour le programmeur. Plusieurs grafquets, de niveaux différents, seront donc élaborés pendant la phase de conception.

Conformément à la figure B-4, ces grafquets permettront de valider les différentes étapes de la phase de réalisation du système. A chaque niveau correspond un grafcet particulier. Généralement, il est possible de distinguer trois stades :

- grafcet du principe général de fonctionnement,
- grafcet de description de la solution technique,
- grafcet en vue de la programmation (d'après les choix technologiques).

Il va de soi qu'on attend une complète cohérence entre (voir la figure B-17) :

- le grafcet qu'on peut tracer avec comme seules indications celles que fournit la lecture du programme et le grafcet qui avait été conçu en vue de la programmation,
- le grafcet qu'on peut tracer en observant le fonctionnement des actionneurs (et les signaux des capteurs) et le grafcet de description de la solution technique,
- le grafcet qu'on peut tracer en observant le système dans son ensemble, c'est-à-dire la réalisation de la tâche principale, et le grafcet du principe général de fonctionnement issu du cahier des charges technique.

Chacun de ces grafquets doit être conçu pour l'usage qu'il remplit. Si nécessaire, ils peuvent donc être de structures très différentes, et surtout, le vocabulaire employé doit être adapté au niveau de précision du grafquet.

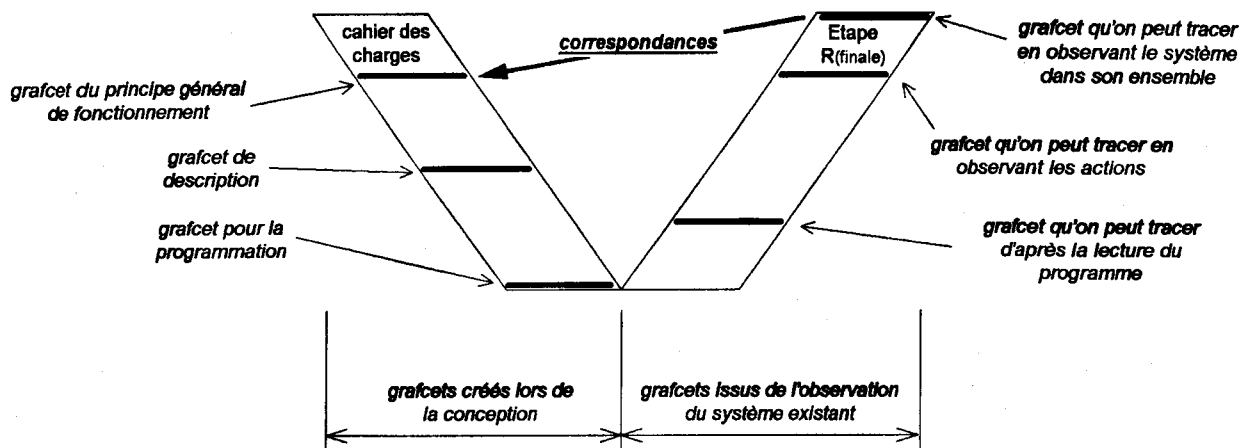


figure B-17

La vie du système se poursuit par sa mise en exploitation, sa maintenance en bon état de marche et ensuite par les modifications qu'il peut nécessiter :

- le grafquet pour la programmation est nécessaire pour la maintenance et les développements,
- par contre, le grafquet de description est à la fois concis et suffisamment détaillé pour l'exploitation du système.

3 - 10. Démarche générale

a) Le niveau de précision recherché

- De manière intuitive

Pour le cahier des charges, le grafquet exprime d'une manière générale la fonction principale du point de vue de son fonctionnement. Il doit être succinct et peut être tracé sans méthode particulière. L'intuition et l'expérience permettent habituellement de tracer rapidement un grafquet correct. On procède de la manière suivante :

- 1) tracé de l'étape initiale (en haut d'une page blanche),
- 2) 3) et 4) tracé des étapes (en leur associant les actions au fur et à mesure) et des transitions (en leur associant les réceptivités au fur et à mesure) selon l'évolution attendue des situations successives (figure B-18-a).

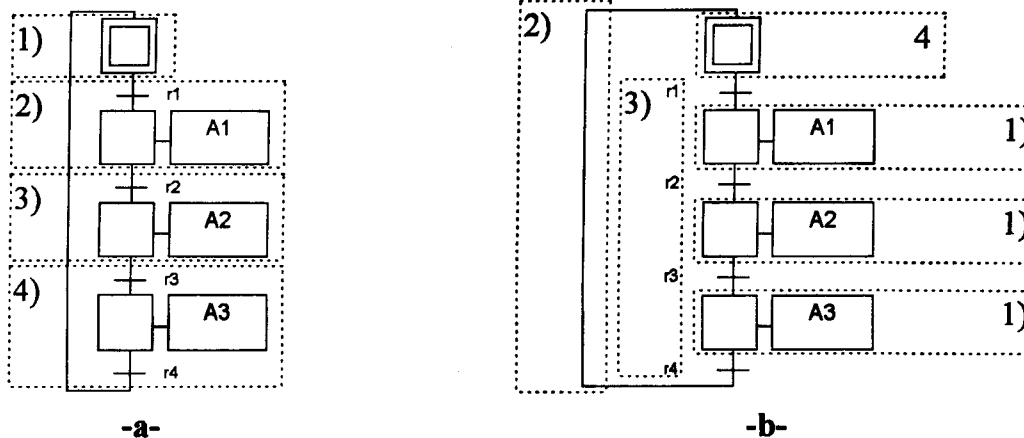


figure B-18

- Avec méthode

Pour les niveaux inférieurs, une analyse plus fine est à envisager. Les grafquets gagnent en précision. Il est alors conseillé de recourir à la suite d'interrogations proposée ci-dessous. Il en ressortira que l'ordre dans lequel on trace les divers éléments du grafquet *ne suit pas l'évolution du cycle* : le grafquet est tracé *couche par couche* (figure B-18-b),

- 1) les étapes et actions d'abord,
- 2) les liaisons et les transitions ensuite,
- 3) puis les réceptivités,
- 4) et pour terminer, l'étape initiale et quelques étapes de passage pour respecter les règles de syntaxe du Grafquet.

Bien que de manière moins évidente *à priori*, cette méthode est plus puissante et plus rigoureuse. Voici les interrogations fondamentales qui permettent de construire les grafquets de cette manière.

b) Questions-réponses

- Quelles sont les fonctions composantes ?

D'abord, il faut en faire l'inventaire et chiffrer les critères correspondants.



L'inventaire des fonctions indique les tâches à effectuer.

- Quelle est la chronologie d'exécution des fonctions ?

Ensuite, et *seulement dans un deuxième temps*, il faut organiser leur chronologie d'appel.



L'organisation de leur appel permet de construire l'ossature du grafquet (son épure).

- Quelles informations permettent le départ des tâches ?

- Et, quelles informations permettent leur arrêt ?

Ces informations sont des composantes du vecteur d'entrées (boutons, capteurs...) ou des variables internes (étapes de grafquets...).



On définit ainsi les réceptivités liées aux transitions.

- Quelles sont les fonctions de niveau inférieur ?

S'il est opportun d'en définir, les grafquets de niveau inférieur sont élaborés comme précédemment :

- faire l'inventaire des sous-fonctions, chiffrer les critères,
- organiser leur chronologie d'appel,
- déterminer les informations qui permettent le départ et l'arrêt des tâches correspondantes.

Réitérer cette suite de questions-réponses pour toutes les fonctions qui le justifient jusqu'à les épuiser. Le passage des tâches aux actions se fait progressivement. Au dernier niveau, il ne reste plus que des actions.

c) A propos de l'ossature des grafquets

La coordination des actions est déterminée par 2 facteurs :

- l'organisation même du grafquet,
- les équations logiques qui forment les réceptivités.

Ces 2 facteurs sont intimement liés car les équations dépendent en partie de l'ossature du grafquet. Le grafquet de la figure B-19-a présente une convergence puis une divergence en OU. L'étape X5 est activée si l'expression {e} est vraie immédiatement après activation de l'étape X3 (X3 est ici une étape de passage, aucune action ne lui est associée). Si le grafquet ne doit pas évoluer de X1 vers X5 même si {e} est vraie, il est possible de conserver l'allure

générale de ce grafcet, mais une variable (M sur la figure b) doit gérer cette contrainte. Il est souhaitable cependant de rechercher une structure mieux adaptée en traçant explicitement les séquences obligées comme sur la figure c :

- le grafcet représente bien mieux les évolutions possibles,
- la réceptivité en amont de l'étape X5 se limite à l'expression réellement utile.

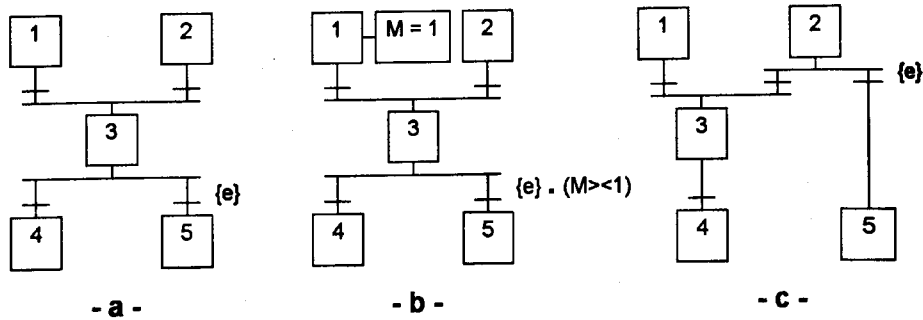


figure B-19

La décomposition fonctionnelle est illustrée par l'étude de cas du chapitre suivant. La notion de séquences obligées sera ensuite développée dans l'étude de cas du chapitre VI. Les exemples sont choisis de façon à bien distinguer ces deux aspects de la construction des grafcets.

La flexibilité de l'outil de production nous conduira dans la troisième partie de ce livre vers un dernier aspect de la méthode : le paramétrage.