

### VII . IDEES DIRECTRICES

#### 1 - LE CONTEXTE INDUSTRIEL

##### 1 - 1. L'organisation de l'entreprise

A des degrés divers et en fonction du domaine d'activité de l'entreprise, la *flexibilité des moyens de production* est couramment recherchée pour la raison essentielle d'assurer une rotation rapide des capitaux, grâce en particulier à la diminution des stocks. Cette préoccupation centrale a une incidence capitale sur l'organisation de l'entreprise et les méthodes de travail, et par conséquent sur les technologies employées.

##### a ) L'intégration des moyens

L'intégration du système de production est obtenue en interconnectant l'ensemble des composantes de l'entreprise. Elle peut concerner tout le cheminement des informations : de la commande du client jusqu'à la livraison. Elle assure la possibilité d'une gestion serrée et permet ainsi la réduction des coûts matière, outillage et fournitures tout en garantissant la constance dans l'obtention de la qualité. Les domaines de compétence du personnel qui assure le pilotage des systèmes de production automatisée s'orientent de ce fait vers une plus grande diversité et une technicité accrue.

##### b ) Les méthodes

La codification des moyens et des produits, un système unique et interchangeable de palettes, des systèmes de corrections automatiques et des méthodes de changement rapide de campagne sont adoptés. Cet effort est fait du point de vue des mécanismes (remplacement des outillages... ) ainsi que du point de vue des logiciels de conduite. On recherche également une certaine autonomie de l'outil de production et la possibilité de son adaptation à l'évolution du marché dans des délais très brefs. Par ailleurs, la simplification du processus de fabrication est prise en compte dès le stade de la conception des produits.

##### 1 - 2. Flux physiques de production

L'organisation de la production peut être envisagée selon deux points de vue distincts :

- le point de vue du *poste de travail*,
- le point de vue de la *pièce ouvragée*.

Dans un système de production traditionnel,

- un *poste de travail* réalise la même tâche tout au long de la journée (des changements de série interviennent naturellement, mais à un rythme faible),
- toutes les *pièces* d'un type donné suivent le même chemin dans l'atelier.

Dans un système flexible,

- un poste de travail donné peut effectuer une tâche différente à chaque nouvelle pièce - ou petite série de pièces - en respectant un temps de changement extrêmement bref : la recon-

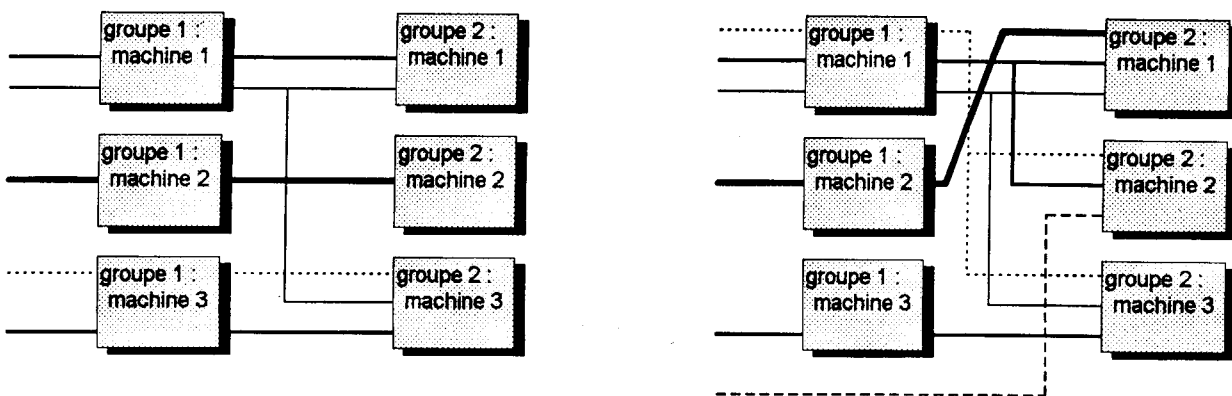
naissance automatique juste en amont du poste permet alors une adaptation automatique ainsi qu'une intégration informatique de la gestion de production,

- les pièces d'un même type ne suivent pas toutes le même chemin dans l'atelier : à chaque nouveau stade de son évolution, un certain nombre de conditions orientent, en temps réel, la pièce vers le poste suivant le plus favorable.

*Exemple (Une solution à ce problème est proposée page 127)*

Une cellule de production est composée de deux groupes de trois machines : toutes les pièces subissent une opération sur l'une des machines du premier groupe, et ensuite une opération sur une machine du deuxième groupe, éventuellement sélectionnée parmi 2 ou 3 d'entre elles. A cela peuvent s'ajouter des pièces qui ne subissent une opération que sur une machine du deuxième groupe, également avec possibilité de choix. Les transferts des pièces du premier vers le deuxième groupe se font par un chariot automatisé.

2 exemples de configurations :



Les différents types de traits symbolisent différents types de pièces

figure C-1

Une *configuration* détermine les possibilités de chemins que peuvent prendre les différents types de pièces. Selon les besoins, l'agent de production sélectionne l'une des nombreuses configurations répertoriées. Et à cause de l'évolution du marché, on envisage que de nouvelles configurations, encore inconnues, peuvent apparaître à l'avenir.

Le changement de configuration nécessite que la partie commande soit instruite des nouvelles règles de fonctionnement de la cellule d'une manière précise et exhaustive.

### a) Les technologies

Une brève comparaison entre machines conventionnelles et machines spéciales montre l'intérêt des systèmes flexibles.

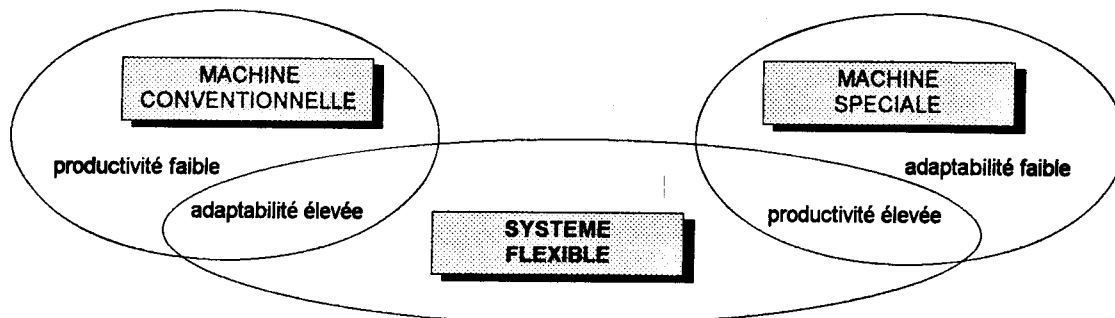


figure C-2

Les machines conventionnelles sont adaptables à une grande variété de travaux mais elles sont peu productives de par leur nature. Les machines spéciales de production sont à

l'inverse très productives pour une série donnée mais peu adaptables en raison de la durée excessive du changement de série.

Par exemple : la tête d'une fraiseuse universelle comporte toute une série de roues dentées et de pièces intermédiaires qui permettent de l'orienter à souhait et de l'équiper d'accessoires divers. Cette machine est adaptable mais bien moins robuste que son équivalent à tête horizontale dont la chaîne cinématique est beaucoup plus directe. La puissance transmissible limitera par conséquent les vitesses de coupe et d'avance, les épaisseurs de copeaux ainsi que les géométries et diamètres d'outils.

L'architecture mécanique des machines modernes est basée sur des modèles de robustesse plutôt que de versatilité. Le relatif manque de souplesse qui les caractérise est cependant compensé par l'apport des technologies numériques : elles comportent des calculateurs dédiés à la commande des machines. Ces technologies offrent la possibilité de temps d'adaptation extrêmement brefs, par exemple par téléchargement de programmes très variés.

*Les systèmes flexibles bénéficient des avantages des deux solutions traditionnelles : adaptabilité et productivité.*

#### - **Adaptabilité**

A tout instant, les actions réalisées par le système de production sont adaptées à la tâche à effectuer. Les tâches ne sont pas exécutées de façon répétitive car des pièces de types différents sont susceptibles de se présenter à un poste donné.

#### - **Productivité**

La nature des matériels employés (rigidité mécanique, puissance disponible, performance des outils de coupe, etc.) est l'un des atouts qui assure une bonne productivité. Un autre atout essentiel réside dans une bonne structuration de la partie commande. Une grande sûreté de fonctionnement de même que la continuité du flux de production sont ainsi garanties lors des régulières modifications liées à l'évolution des contraintes de fabrication.

#### - **Degré d'intégration**

Les systèmes flexibles sont constitués d'un ensemble de moyens : machines-outils standards, machines spéciales, robots, convoyeurs, etc. On peut les classer selon leur degré d'intégration :

- machine-outil à commande numérique (MOCN) : machine relativement spécialisée de type fraisage, pointage, tournage, poinçonnage, pliage, etc.
- centre d'usinage (CU) : MOCN complétée de périphériques tels que magasin d'outils ou réserve de palettes et aux possibilités étendues grâce à l'asservissement numérique d'un plus grand nombre d'axes,
- cellule flexible : ensemble de plusieurs machines avec circulation automatique des pièces entre elles, autonomie accrue, contrôle intégré de la qualité,
- atelier flexible : composé de plusieurs cellules avec interaction en elles,
- usine intégrée (CIM : Computer Intergrated Manufacturing) : moins une réalité courante qu'un concept phare qui représente un modèle.

### 1 - 3. Un concept universel

La flexibilité des machines est une préoccupation majeure pour les techniciens : fabrication automatique de costumes sur mesure, fabrication automatique de mobilier sur mesure, etc.

Bien des exemples dépassent le domaine industriel : sélection automatique des voies empruntées par les trains en fonction du trafic réel, prélèvement et rangement de documents écrits ou audio-visuels dans une médiathèque... C'est une des composantes de l'intelligence dont les machines seront de plus en plus dotées.

## 2 - LA COMMUNICATION INDUSTRIELLE

La notion de système telle qu'elle a été définie dans les deux premières parties de ce livre est maintenant étendue à la réunion de plusieurs machines en une cellule, et à la réunion de plusieurs cellules en un atelier. A un niveau supérieur, on considère l'entreprise dans sa totalité, composée de ses divers ateliers, mais également de services comme la gestion du personnel ou la gestion commerciale.

### 2 - 1. Les besoins de communication dans une entreprise

Les outils informatiques utilisés dans ces différents milieux ne sont pas issus des mêmes normes ni fournis par les mêmes constructeurs : on dit qu'il sont hétérogènes. Le système complet doit pouvoir gérer cette *hétérogénéité* de même que son *évolutivité*, garante de la pérennité des investissements. Il doit également permettre le *partage des ressources* nécessaire à la cohérence au sein d'une même activité.

Deux types d'acteurs interviennent dans le fonctionnement d'une entreprise : les hommes et les machines. L'interactivité étant la condition première de la vitalité de tout système, l'entreprise est face à trois types de relations :

- la communication entre les hommes,
- celle entre les hommes et les machines,
- et celle entre les machines.

La mise en oeuvre d'un système de production complet implique donc que l'ensemble des éléments qui la composent soit organisé d'une manière interactive et hiérarchisée.

Par ailleurs, les services de communication que doivent fournir les différents équipements nécessitent des *temps de réponses* variés et peuvent accepter des *taux d'erreurs* plus ou moins sévères selon leur fonction. Les *volumes d'informations* peuvent être très variables : un message de synchronisation n'a évidemment pas la même taille qu'un fichier ou un programme. Dans le contexte industriel, l'*environnement électro-magnétique* des ateliers peut être parasité par les organes de puissance. Les *distances* à couvrir sont également très variables : quelques mètres entre deux ordinateurs de bureau ou plusieurs centaines de mètres pour relier des contrôleurs d'ateliers d'une usine importante.

Les performances des moyens de communication à mettre en oeuvre dépendent de toutes ces contraintes.

### 2 - 2. Les modèles de communication

#### a) La connexion entre deux machines

Le principe du cheminement d'un message d'une machine à l'autre est décalqué sur le comportement humain : d'une façon très schématique, il est souvent comparé à l'échange d'un courrier postal entre deux personnes. L'expéditeur (appelé *émetteur*) prend l'initiative de l'envoi car c'est lui qui en éprouve le besoin : il s'agit de la transmission d'une information ou au contraire de la sollicitation d'une réponse de la part de son correspondant. Le courrier est élaboré suite à une série d'actions bien identifiées. Elles sont décrites figure C-3. Une même série d'actions est nécessaire pour que le destinataire (le *récepteur*) prenne connaissance du message.

Pour les équipements, cette procédure générale de communication a été formalisée et normalisée par l'ISO (International Standard Organization) : c'est le modèle OSI (Open Systems Interconnection). « Ouvert » signifie que des équipements hétérogènes peuvent communiquer entre-eux.

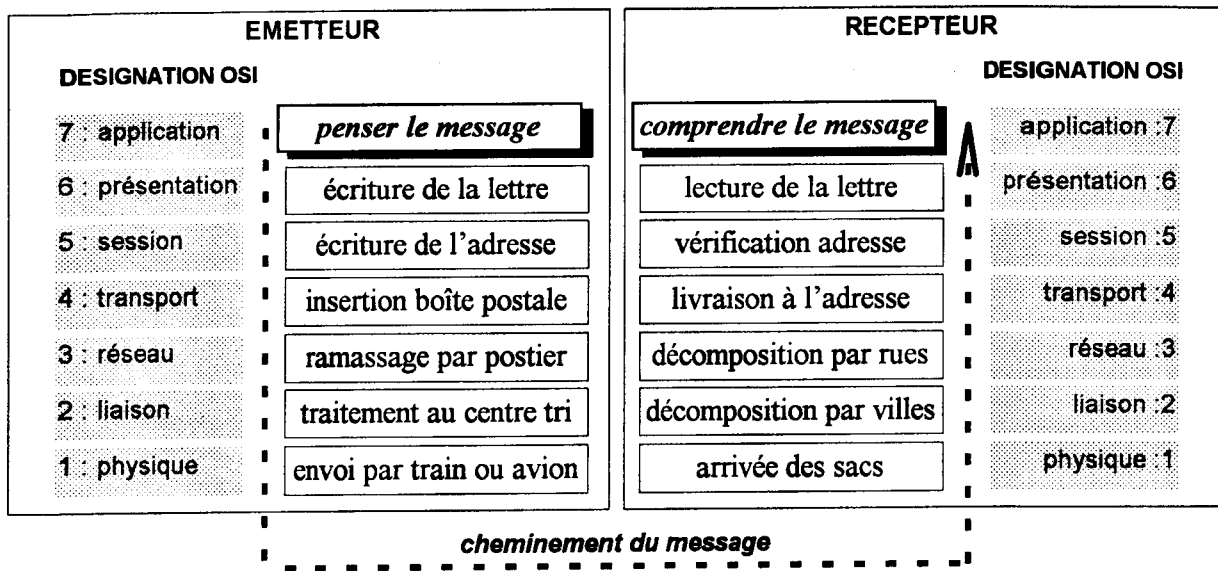


figure C-3

Les couches élevées relèvent exclusivement de logiciels (de la pensée des individus dans la métaphore du courrier) alors que les couches basses relèvent également du matériel (du service postal) :

- les logiciels sont chargés de la gestion interne des données et de la synchronisation des échanges avec le correspondant,
- les couches intermédiaires définissent le mode de codage et la préparation des données,
- les aspects matériels concernent les tensions et intensités des signaux, le brochage des connecteurs et la nature des conducteurs.

Deux points sont à noter :

- la correspondance des fonctions, couche par couche, du côté de l'émetteur et du côté du récepteur : à chaque couche correspond un *protocole* qui définit les règles de dialogue,
- chaque couche rend un *service* à la couche immédiatement supérieure au sein de chaque unité.

Lorsque plus de deux correspondants sont en relation, on parle de *réseau*, et plus particulièrement de *réseau local industriel (RLI)* quand tous les abonnés sont géographiquement regroupés au sein d'une même entreprise et que les contraintes liées à l'industrie, énoncées au § 2 - 1, sont prises en compte. La priorité d'accès au réseau, la taille maximale des messages, la sûreté des transmissions, la complexité des protocoles sont autant de paramètres gérés différemment selon le type de réseau mis en oeuvre. Le modèle OSI sert de base à la normalisation des moyens de communication. Ce domaine est régulièrement en mutation et fait l'objet d'importants enjeux commerciaux.

#### b) Comparaison entre le modèle OSI et les réseaux locaux industriels

L'informatique de type bureautique ou grand public prend en charge la totalité des couches OSI : l'utilisateur dispose immédiatement d'outils prêts à l'emploi. A cause de la plus grande diversité des services attendus, les fournisseurs de *réseaux locaux industriels* n'implémentent souvent que les couches inférieures : c'est l'utilisateur qui doit alors mettre

en forme les couches élevées, bien que la couche *application* fasse l'objet de nombreux développements.

#### **Illustration dans le cas d'un système bureautique**

Soit à tracer un dessin réalisé en DAO sur table traçante. L'utilisateur sélectionne la fonction à réaliser par simple clic de souris sur l'icône appropriée : « tracé du fichier courant ». C'est le système informatique qui réalise le passage des informations, couche par couche :

*Présentation* : codage des données de couleurs, d'épaisseurs de traits, d'échelle...

*Session* : contrôle de la synchronisation des échanges avec la table traçante...

*Transport* : vérification du temps d'établissement de la liaison et des erreurs...

*Réseau* : décomposition du fichier en paquets et vérification de leur acheminement...

*Liaison* : constitution des trames au format requis (adresse du destinataire + portion de message + contrôle des trames)

*Physique* : transmission des bits (respect des connecteurs, des tensions, du codage...)

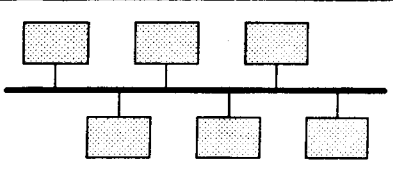
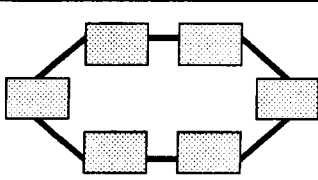
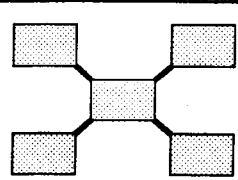
#### **Illustration dans le cas d'un système industriel**

Soit à transférer un signal de « départ cycle » d'un automate vers un autre automate. La quasi totalité de l'application est cette fois écrite par l'utilisateur, en particulier sous forme de grafcet pour la partie séquentielle et également sous forme d'instructions logiques pour stocker le message à transmettre dans un tableau de données. La mise en forme du message est ainsi laissée à l'initiative de l'utilisateur, de sorte que la programmation des couches 7 à 3 lui incombe. La taille maximale des messages est souvent limitée, ce qui nécessite quelquefois l'écriture de procédures de dialogues supplémentaires. Seul le transfert des données à destination du récepteur est pris en charge par le réseau : ce sont les couches 2 et 1.

La couche 7 peut de plus en plus souvent être intégrée sous forme d'une interface conviviale : une fenêtre de configuration prête à l'emploi permet alors de définir les variables à échanger.

## **2 - 3. Topologies des réseaux locaux industriels**

Chaque équipement, quelle que soit sa nature, est appelé *noeud* du réseau, ou *station*, ou encore *abonné*. L'organisation et la répartition physique des noeuds peuvent se faire de diverses façons appelées *topologies* dont les principales sont les suivantes :

BUS	ANNEAU	ETOILE
		
Les stations sont raccordées à un médium unique.	Les stations sont reliées deux à deux afin de former un anneau	Chaque station périphérique est reliée à la station centrale par un médium spécifique.
Des procédures plus ou moins complexes doivent gérer les conflits d'accès au bus.	Un jeton informatique circule continuellement sur l'anneau : il recueille et distribue les informations de station en station.	La station centrale concentre les échanges d'informations.
L'ajout, le retrait ou l'indisponibilité d'une station se fait sans remise en cause du restant de l'application.	La longueur de l'anneau peut être très importante du fait de la régénération des signaux à chaque station.	La modification du réseau est aisée.

## 2 - 4. Architecture d'un système de production

La diversité des besoins des entreprises et de l'offre en matière de composants d'automatismes est telle qu'il est difficile de tracer une architecture type. La figure C-4 propose néanmoins une solution à titre indicatif.

### a) Les équipements

Par ordre hiérarchique ascendant, les équipements sont les suivants :

- A : capteurs et actionneurs (également désignés par Entrées-Sorties)
- B : interfaces intelligentes : variateurs de vitesse, appareils de mesure, etc.
- C : nano-automates : assurent les fonctions d'automatismes de base
- D : micro-automates : assurent toutes les fonctions pour la commande de machines spéciales, des convoyeurs, fours, cuves, magasins d'outils, appareils de contrôle, etc.

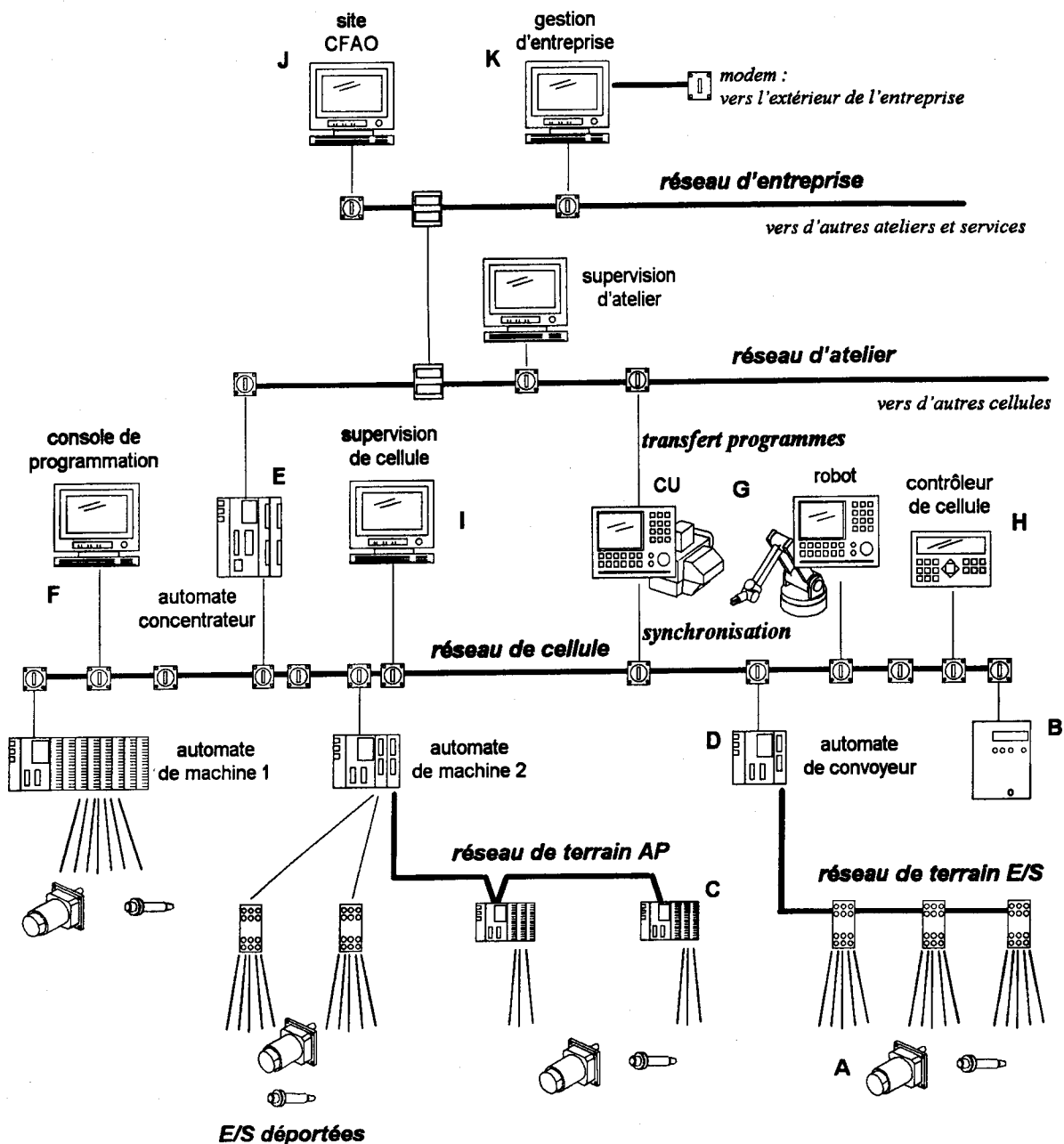


figure C-4

- E : automates : peuvent être équipés de cartes spécialisées très variées de type unité centrale au format PC, disque dur... peuvent recueillir les données process afin de les mettre en forme, les stocker, les transmettre à un superviseur, éditer un rapport d'activité... des capteurs et actionneurs peuvent évidemment leur être raccordés
- F : consoles de programmation : création et archivage des programmes d'automates, modifications, mise au point...
- G : divers équipements de production : CU, robot...
- H : contrôleurs de cellule : du plus simple terminal programmable au contrôleur avec affichage graphique
- I : superviseurs : pilotage central de la cellule et/ou de l'atelier
- J : site CFAO : plusieurs ordinateurs et périphériques reliés en réseau pour la conception des produits, les calculs mécaniques, les contextes de fabrication, la génération et l'archivage des programmes d'usinage
- K : gestion d'entreprise : concerne la production (GPAO), la trésorerie, le personnel, les clients et les commandes...

### b) Les composants de liaison

Dans une solution *homogène*, le réseau et le matériel connecté sont fournis par un même constructeur. Les liaisons entre des réseaux de natures différentes peuvent cependant être envisagées grâce à l'emploi de passerelles, appareils capables de gérer simultanément plusieurs protocoles (par exemple un superviseur doté de cartes de communication à protocoles multiples).

Le modèle OSI a généré des normes relatives aux RLI pour garantir l'interconnexion de matériels hétérogènes. Celles-ci restent dans la pratique fédérées par les grands constructeurs. Les produits proposés par les fournisseurs de matériels périphériques et de logiciels sont désormais conformes à l'une ou à plusieurs de ces normes, ce qui permet tout de même une grande souplesse dans le choix des équipements.

Parmi ces *normes*, citons WORLDFIP (extension de FIP, initié par le Ministère de l'Industrie français : Schneider-Télémechanique en est le principal fournisseur), PROFIBUS (autour de Siemens), INTERBUS-S, DEVICE-NET etc. Le développement du réseau AS-I (pour Actuator Sensor Interface) permet le raccordement de capteurs et d'actionneurs fournis par un grand nombre de constructeurs.

Pour les réseaux d'entreprise, ETHERNET est un *standard* au niveau *physique* qui, issu de l'informatique bureautique, a largement été adopté par l'industrie en association avec les *protocoles* CSMA/CD et TCP/IP (ce dernier étant le couple de protocoles aux niveaux transport et réseau d'Internet).

#### - Au niveau du terrain

La connexion des capteurs et actionneurs aux automates peut se faire de diverses manières :

- l'exemple de la machine 1 (figure C-4) représente la solution traditionnelle où chaque constituant est relié à une entrée ou à une sortie de l'automate,
- pour la machine 2, les interfaces d'E/S sont d'une part déportées au plus près des capteurs et des actionneurs, et d'autre part un *réseau de terrain d'automates* distribue une certaine intelligence vers un niveau hiérarchique inférieur : le câblage est simplifié et les fonctions sont réparties,
- l'automate du convoyeur est équipé d'un *réseau de terrain d'entrées-sorties* : le câblage est encore simplifié et le coût final du point de connexion est minimum.



### - Au niveau de la cellule

Les réseaux de cellule permettent l'échange d'informations entre automates, terminaux, ordinateurs de pilotage, systèmes d'aide à la maintenance, commandes de robots, directeurs de machines-outils à commande numérique, etc.

Des prises supplémentaires peuvent être mises à disposition des agents de maintenance : depuis n'importe lequel de ces endroits, répartis judicieusement, des interventions au pied de la machine sont possibles grâce au raccordement temporaire d'une console de poche (réglages, visualisation, modification de programme, etc.)

### - Au niveau de l'atelier

Les réseaux d'atelier assurent la liaison entre les réseaux de cellules et les ordinateurs de gestion : GPAO, téléchargement de programmes entre machines-outils et logiciels de CFAO, suivi de la qualité, etc.

Remarque : la connexion du CU sur le réseau de cellule permet d'échanger des signaux de synchronisation avec les autres machines de la cellule (quelques bits ou octets) alors que sa connexion sur le réseau d'atelier est destinée au téléchargement de programmes complets. Ces réseaux doivent donc répondre à des besoins différents.

### - Au niveau de l'entreprise

Ce sont des réseaux de type bureautique qui relient essentiellement des ordinateurs et des périphériques standards : imprimantes, disques durs, tables traçantes, etc.

### - L'offre des constructeurs

Les produits normalisés font référence aux niveaux de l'entreprise et sont disponibles pour certains sous des dénominations commerciales propres au fournisseur :

- au niveau du terrain, Schneider-Télémechanique propose FIPIO (pour In-Out), Siemens propose PROFIBUS-DP (et PROFIBUS-PA pour les applications en milieu explosible), la plupart des marques proposant également AS-I,
- au niveau cellule, on trouve FIPWAY et toujours PROFIBUS-DP,
- au niveau atelier : MAPWAY ou ETHWAY et PROFIBUS-FMS,
- au niveau entreprise, le réseau IBM est de type Token-Ring, Digital Equipement propose DECNET, Siemens propose INDUSTRIAL ETHERNET, le réseau de Schneider est ETHWAY etc.

Notons quelques solutions propriétaires :

Sinec-L1 ou MPI pour Siemens, Uni-Telway pour Schneider, Jbus pour April.

### Remarque :

Ce chapitre a traité deux concepts totalement différents : les niveaux hiérarchiques (du terrain à l'entreprise) et les couches du modèle OSI (de la couche physique à la couche application). A chaque niveau de communication, toutes les couches du modèle OSI sont traversées par les informations lors d'une transmission.

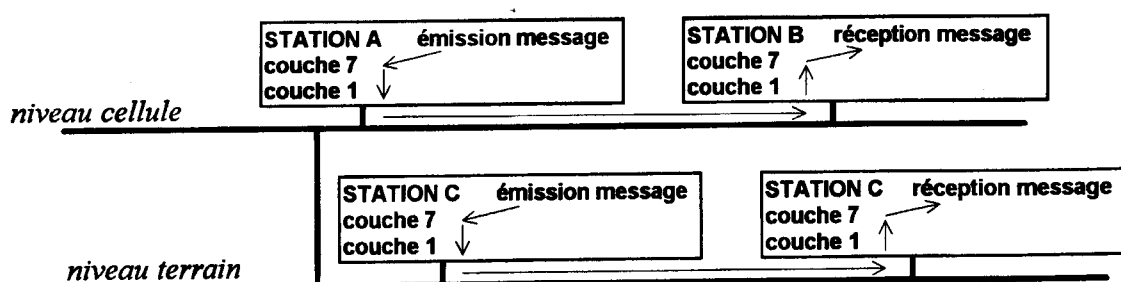


figure C-5

### c) Exemples de production intégrée

#### - Production de voitures

Compte tenu de l'ensemble des options, des couleurs ou encore des conditions spéciales pour l'export... le nombre de variantes d'un même modèle de voiture automobile est impressionnant. La majorité des véhicules sont commandés à l'usine par les concessionnaires en fonction de leur connaissance du marché. Certains clients ont des souhaits particuliers qui font alors l'objet de commandes supplémentaires. En tout cas, les commandes sont personnalisées et transmises à l'usine par voie informatique.

Les pièces standards sont bien entendu produites en grande série : la tôlerie, les moteurs et les transmissions etc. Mais la peinture et le montage final des voitures se font au fur et à mesure de la demande. Bien qu'une chaîne de montage soit dédiée à un seul modèle, deux voitures qui s'y suivent ne se ressemblent jamais. La production est ordonnancée de manière à combiner tous les paramètres, véhicule après véhicule. Un tel résultat est la conséquence de l'évolutivité du marché et du besoin de personnalisation des consommateurs. Notons à ce sujet, à cause de la diversité des variantes, que les séries dites spéciales sont justement les seules qui sont produites dans l'esprit de la grande série. On est loin de l'époque où les constructeurs engageaient les clients à choisir la couleur de leur voiture, pourvu qu'elle soit noire...

#### - Production de mobilier de cuisine

Là encore, l'intégration peut être totale. Le vendeur prend les mesures de la cuisine vide et saisit toutes les caractéristiques du mobilier commandé : toutes les dimensions, y compris les emplacements des étagères, la qualité des finitions, la couleur, etc. Les données sont transmises à l'usine par le réseau téléphonique depuis l'ordinateur du vendeur. Elles sont directement exploitées par les machines lorsque sont découpés les panneaux de bois : chaque planchette porte dès cette première étape le numéro de la commande sous forme de code barre. De même, le directeur de commande numérique de la perceuse est informé des coordonnées et diamètres des trous individuellement pour chaque planchette. Les pièces détachées d'une même cuisine sont regroupées en fin de fabrication et l'assemblage est automatiquement géré grâce aux données fournies par le vendeur.

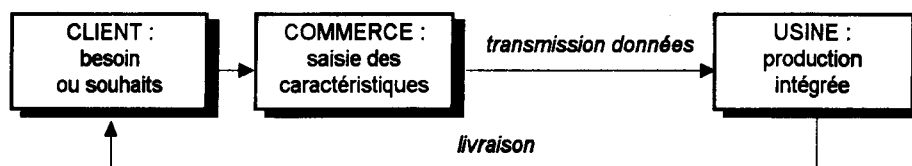


figure C-6

## 2 - 5. Interfaces opérateurs

### a) Les boîtes à boutons et voyants

Au même titre que les capteurs et les préactionneurs, les boutons et les voyants sont reliés soit directement aux coupleurs d'E/S des automates, soit par l'intermédiaire d'interfaces déportées. Des dispositifs complémentaires simples comme les roues codeuses, les potentiomètres ou les afficheurs à segments et les galvanomètres sont souvent requis. On rappelle que les boutons et voyants dédiés à la sécurité sont câblés dans les circuits de sécurité.

### b) Le terminal (ou pupitre) opérateur programmable

Les boutons et voyants sont souvent remplacés fort économiquement par un terminal opérateur qui offre de vastes possibilités supplémentaires : visualisation des messages sous forme de texte, navigation dans des menus, accès réservé par mot de passe, etc.

- la liaison avec l'automate se fait la plupart du temps par réseau local et permet donc l'économie d'un grand nombre d'E/S,

- la programmation se fait par configuration de tables de données échangées en permanence avec l'automate.

### c) La supervision

La fonction *supervision* consiste à contrôler le processus (visualiser les états des différents équipements) et à le piloter (agir en forçant certains paramètres) à partir d'un poste central. Une vaste gamme de services peuvent en réalité être attendus de cet outil. La supervision existe sous deux formes :

- des contrôleurs commercialisés par les fournisseurs de matériels d'automatismes (d'aspect similaire aux terminaux opérateurs, ils offrent un large écran et un clavier étendu),
- des progiciels fournis par des développeurs informatiques.

Les fonctionnalités sont tout à fait comparables. Quel qu'en soit le type, la supervision offre la souplesse habituelle des outils informatiques : écran graphique, éventuellement tactile, clavier standard, programmation de l'application par configuration, langages standards (C, Visual) ou encore liens avec d'autres logiciels (import-export de données). Le superviseur est généralement connecté à un ou plusieurs réseaux pour échanger des informations avec toute une série d'automates et d'équipements divers. Tous les domaines de l'automatisme sont concernés : les industries de procédés discontinus et continus, la gestion technique des bâtiments (immotique et domotique), immense potentiel d'avenir, ainsi que la gestion des voies de communication (autoroutes, rail, canaux navigables...) ou encore les stations de pompage et d'irrigation.

### d) Méthode de développement d'une application de supervision

Deux étapes bien distinctes sont nécessaires :

- la configuration des données
- et ensuite l'édition des écrans et l'écriture de programmes complémentaires.

#### - Configuration des données

**Les tables.** Grâce aux outils fournis par le progiciel de supervision, le développeur de l'application définit un certain nombre de tables de données en réception et en émission. Il les déclare aux formats de sa convenance (bits, mots, texte...) et aux tailles et adresses de sa convenance. Chaque table est affectée à l'un des réseaux (dans le cas où plusieurs réseaux sont connectés au même superviseur) et ensuite à l'une des stations ou globalement à toutes les stations. En mode d'exploitation, elles seront échangées avec la ou les stations correspondantes d'une manière cyclique ou sur demande. Elles sont mémorisées ou non pendant l'arrêt du superviseur. Des protocoles différents, simultanément activés, autorisent les échanges de données entre matériels hétérogènes.

**Les variables externes.** Dans les tables, il faut ensuite définir les variables, en général sous forme symbolique : moteur\_broche, vanne\_3, pompe\_acide, etc. Les adresses de ces variables doivent être cohérentes avec celles déclarées dans les équipements connectés.

**Les variables internes.** Il est souvent nécessaire de déclarer des variables pour le seul usage du superviseur : registres intermédiaires pour calculs, mémoires de stockage, etc.

#### - Edition des écrans

Une fois les données configurées, on structure l'application en définissant les fonctions générales de chaque écran et leur arborescence. On détermine ensuite le fond de chaque écran : gris uni, synoptique schématisé ou photographie numérisée de l'installation... Des objets de natures diverses sont ensuite ajoutés : du texte, fixe ou variable, des champs de saisie et/ou d'affichage numérique et alphanumérique, des symboles standards (véris,

vannes, etc.) ou personnalisés (fichiers créés par l'utilisateur), des indicateurs de type bargraphe ou à aiguille, des curseurs, des voyants, des touches, des courbes, des scénari vidéo. On associe à chaque objet une ou plusieurs variables. Lors du fonctionnement en mode exploitation, l'évolution des variables peut générer l'animation des objets en temps réel. A l'inverse, l'action sur certains objets peut provoquer l'évolution des variables.

#### - Programmes complémentaires

La simple configuration des objets ne permet cependant pas de réaliser toutes les fonctions habituellement attendues d'un superviseur : calculs logiques (combinaison de conditions pour déclencher un événement par exemple) et calculs numériques (gestion des temps et des coûts de fabrication, boucles de régulation ou algorithmes d'asservissement par exemple). Des outils spécifiques ou des langages de programmation standards sont mis à disposition de l'utilisateur pour réaliser ces fonctions.

#### - Fonctions intégrées

Le développement rapide des applications est possible grâce à une panoplie de fonctions usuelles directement disponibles :

- gestion des alarmes : cette fonction surveille automatiquement les changements d'états des variables et génère des messages de défaut dont les dates d'apparition, d'acquiescement et de disparition sont consignées. Les défauts sont en outre affectés à des groupes et définis en niveaux de criticité, ce qui permet ensuite de filtrer leur affichage ou leur impression. Pour les variables non binaires (valeurs analogiques), les défauts peuvent être générés sur franchissement de seuils pré-réglés,
- statistiques : des registres de comptage spécifiques surveillent les temps de fonctionnement des équipements ainsi que le nombre de manoeuvres effectuées. Ils peuvent déclencher des tâches (mémorisation, calcul, affichage de messages, impression... ) lorsque des seuils sont atteints,
- tenue du journal : tous les événements souhaités peuvent être inscrits dans le journal de l'application. Il est ainsi possible d'imprimer et de stocker sur disque le rapport d'activité d'une équipe de travail et de garantir la traçabilité de la production sous une forme compréhensible par tous,
- recette : une recette est un tableau de données dont les valeurs attribuées aux cellules sont interchangeables par simple appel d'un numéro de fiche différent. Chaque recette contient autant de fiches que souhaité, toutes les fiches de la même recette étant bien sûr structurées de manière parfaitement identique.

#### *Exemple de recette (figure C-7)*

Une brasserie industrielle fabrique une célèbre boisson en quatre phases principales :

1. obtention de la maïsiche par brassage de farine de malt dans de l'eau tiède
2. transformation en moût par filtration, trempe et ajout de houblon
3. refroidissement, fermentation et mûrissement
4. conditionnement

Le type de produit est essentiellement déterminé pendant la deuxième phase. Il dépend :

- du nombre de trempes (1, 2 ou 3),
- des températures successives de la chaudière à trempe,
- des temps d'ébullition,
- de la quantité de houblon.

En réglant ces paramètres, le brasseur peut créer des produits différents (la Kronheibrau, la 1227, la Spéciale, la Tradition, etc.) Les données de fabrication (autrement dit les *recettes* de fabrication) sont mémorisées dans autant de fiches qu'il existe de produits. Pour changer de

production, il suffit d'appeler une nouvelle fiche. Les variables sont alors mises à jour immédiatement.

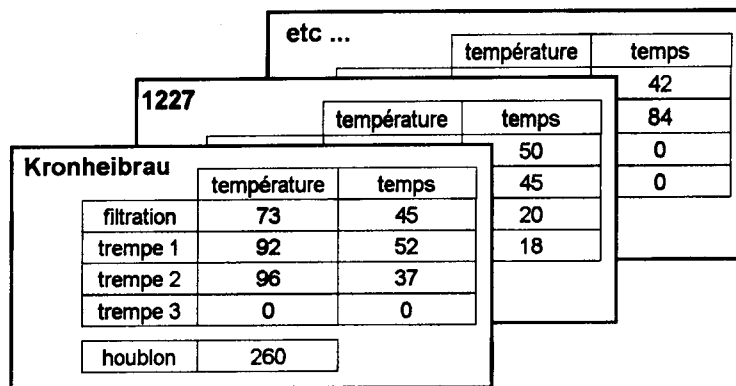


figure C-7

#### - Fonctionnement en mode exploitation

Chacune des fonctions lit ou écrit des informations dans une base de données temps réel qui est commune à toute l'application : la mise à jour de tous les objets du superviseur se fait donc simultanément. Les variables qui sont liées au processus évoluent en même temps que les variables associées des constituants de commande (automate, variateur...) Un léger délai de mise à jour, de l'ordre de plusieurs dixièmes de secondes, est cependant incontournable du fait des différents temps de scrutation qui s'additionnent (superviseur + réseau + automate par exemple). Ces différents interlocuteurs n'étant pas synchronisés, le délai varie continuellement.

#### e) Exemple simple d'application de supervision

Un chariot se déplace suivant un axe linéaire. Sa position est contrôlée par un codeur incrémental et une carte de comptage rapide. La valeur reçue de l'automate est celle du compteur et correspond donc à un nombre de points du codeur.

On souhaite :

- visualiser les mouvements du chariot sur un écran graphique,
- afficher sa position exacte en nombre de points du codeur et aussi en mètres,
- provoquer le « départ cycle » du chariot à partir du superviseur.

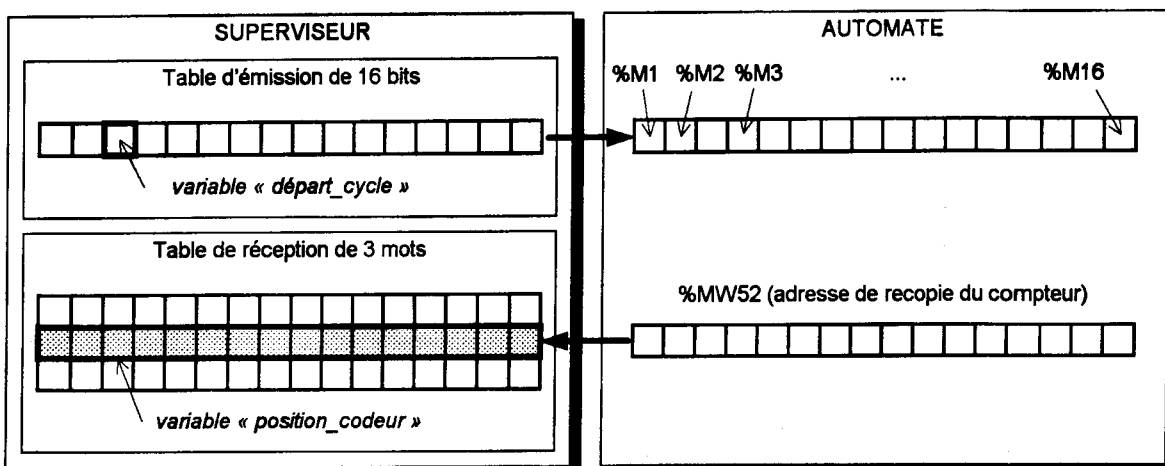


figure C-8

On configure une table en émission de 16 bits à partir de l'adresse 1 (figure C-8) : elle sera transmise vers les 16 bits consécutifs à %M1 de l'automate.

On configure également une table en réception de 3 mots à partir de l'adresse 51 : celle-ci correspondra à %MW51, %MW52 et %MW53 de l'automate.

La variable « départ\_cycle », déclarée en indice 3 sur le superviseur, correspond ainsi à %M3. La variable « position\_codeur », déclarée en indice 2, correspond à %MW52.

De plus, on crée une table interne sur le superviseur qui comporte la variable interne « position\_m ». Après conversion, cette variable contiendra la valeur en mètres de la position réelle du chariot.

L'écran de la figure C-9 propose les objets suivants :

- A : les rails appartiennent au fond d'écran, aucune animation n'étant requise,
- B : les touches Marche et Arrêt positionnent la variable « départ\_cycle » respectivement à un et à zéro,

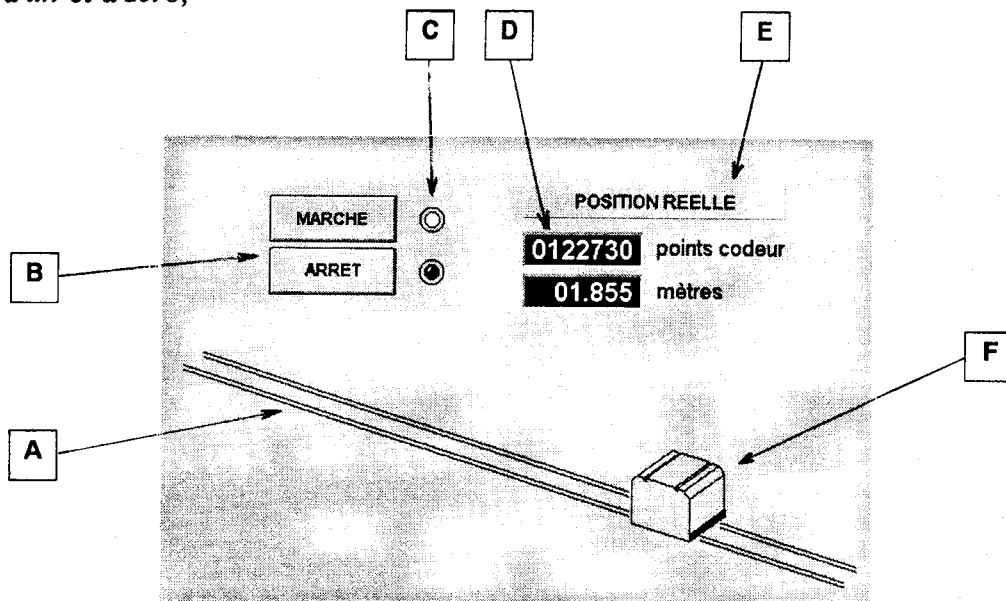


figure C-9

- C : si les objets voyants changent de couleur avec l'état de la variable « départ\_cycle », ils visualisent l'état interne du superviseur : il serait préférable de leur associer une variable en lecture issue du processus pour visualiser l'état réel du chariot,
- D : les fenêtres d'affichage visualisent les valeurs des variables « position\_codeur » et « position\_m » en continu, au temps de rafraîchissement près : dans le cas général, des formats différents peuvent leur être attribués (binaire, entier, flottant, alphanumérique... ),
- E : les textes fixes sont des objets paramétrables du superviseur ou peuvent faire partie du fond d'écran,
- F : le dessin du chariot appartient à un fichier graphique spécifique :
  - cet objet se déplace sur l'écran en même temps qu'évolue la variable « position\_codeur » : on paramètre cette animation en indiquant les coordonnées écran en X et Y pour les 2 valeurs limites de la variable, la mise à l'échelle est calculée automatiquement par le superviseur,
  - la couleur peut changer selon l'état de la variable « départ\_cycle »,
  - un fichier différent comme celui de la figure C-10 peut être appelé momentanément pour montrer par exemple que le chariot transporte une palette.

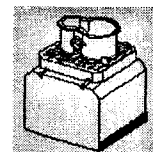


figure C-10

### 3 - GRAFCET ET FLEXIBILITE

#### 3 - 1. Programmes spécifiques

Une fonction supplémentaire que peuvent offrir les superviseurs et contrôleurs industriels est le téléchargement automatique de programmes vers les automates. Ainsi, il est possible d'organiser un atelier flexible pour lequel chaque type de production nécessite des programmes spécifiques. Un changement de programme nécessite cependant un démarrage à froid de l'automate, ce qui implique une interruption momentanée de la production : arrêt de l'automate, transfert du nouveau programme, redémarrage et initialisation de la partie opérative avant remise en production.

Cette solution est donc parfaitement adaptée à tout système où le temps de changement n'est pas critique : c'est le cas par exemple des machines d'essais qui doivent constamment s'adapter à de nouvelles variantes d'un produit (moteurs, missiles, etc.)

Elle est par ailleurs couramment employée au niveau des machines-outils à commande numérique dont les directeurs de commande sont reliés à un serveur de programmes d'usinage, le système de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO).

#### 3 - 2. Téléchargement de sous-programmes

L'interruption de l'automate peut être évitée en téléchargeant seulement une petite partie de son programme. Ainsi le remplacement de l'expression logique relative à une réceptivité permet de modifier immédiatement le comportement du système. Les automates et les réseaux n'offrent cependant pas tous cette possibilité.

#### 3 - 3. Le grafcet en liaison avec les structures de données

Une autre solution consiste à concevoir pour chaque automate un programme universel. Il est bien entendu que cette « universalité » est limitée à un cahier des charges très précis. En effet, la production d'un atelier, même *très* flexible, est toujours ciblée : un fabricant de moteurs ne produira pas de pièces d'horlogerie, de même, les sous-traitants sont toujours relativement spécialisés (décolletage, mécanique de précision, tôlerie...)

La souplesse d'un programme unique, capable de faire face à toute évolution de la production, est obtenue grâce à sa décomposition en une partie « traitement » et une partie « données » :

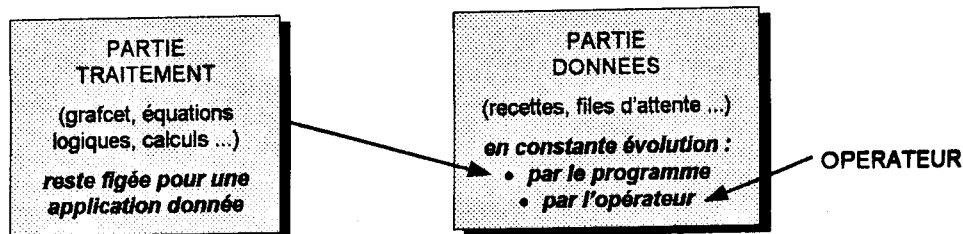


figure C-11

Le traitement doit être le plus court possible pour garantir la rapidité de réaction tout en prenant en compte la lisibilité du programme, en particulier de la partie Grafcet. Pendant l'exploitation, l'adaptation continuelle aux contraintes se fait par manipulation des données à la fois par le programme et par l'opérateur.

- **Illustration : solution de l'exemple de la figure C-1 page 114**

En premier lieu, l'inventaire des fonctions à réaliser par le chariot conduit à la définition des sous-programmes suivants :

*C/1 pour charger au niveau de la machine 1 du premier groupe, etc...*

*C/A pour charger les pièces qui ne passent par aucune machine du premier groupe,*

*D/1 pour décharger au niveau de la machine 1 du deuxième groupe, etc...*

Ce niveau de précision est suffisant pour l'étude de la gestion du chariot. On recherche ensuite les séquences : une seule pièce est transférée à chaque cycle, ce qui implique que les fonctions globalement notées *charger* et *décharger* (quelle que soit la machine) doivent être exécutées à tour de rôle. Par ailleurs, toutes les trajectoires sont virtuellement possibles : aucune ne doit être écartée. On en déduit la structure générale du grafset (figure C-12).

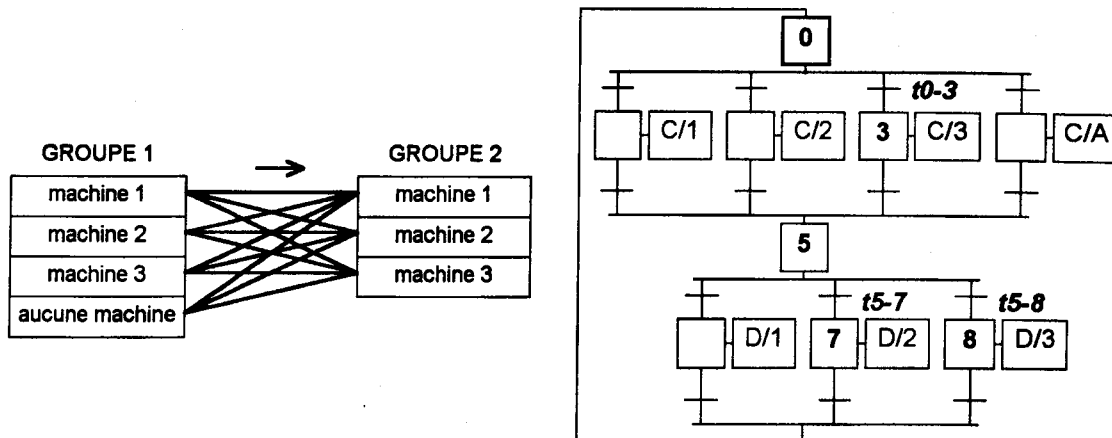


figure C-12

En ce qui concerne la gestion des priorités du côté du chargement, on peut admettre que les niveaux de stocks en aval du groupe 1 déterminent l'ordre de traitement des pièces. Cet exemple est tout à fait comparable à la cellule traitée au chapitre VI (cellule double) : le lecteur se reportera à cette étude pour écrire sans difficulté les réceptivités correspondantes, celles en sortance de l'étape X0.

Il en est de même des réceptivités qui permettent la sélection de la machine de destination (2<sup>o</sup> groupe), celles en sortance de l'étape X5. Celles-ci doivent toutefois être complétées par les conditions supplémentaires liées aux différentes configurations des chemins acceptés. (On rappelle qu'une configuration regroupe l'ensemble des possibilités d'évolution de chaque type de pièce). Après reconnaissance du type de pièce, les machines de destination sont déterminées selon la configuration en cours. Ces configurations sont mémorisées dans autant de fiches-recette. Le changement de configuration se fait par appel d'une nouvelle fiche.

etc ...	groupe 1		groupe 2		3	0	0	...
Fiche n°2	groupe 1		groupe 2		0	0	...	...
Fiche n°1	groupe 1		groupe 2		0	0	...	...
type 1	1	3	0	2	3	0	...	...
type 2	A	0	0	1	2	3	...	...
etc ...							...	...

figure C-13

La recette constitue dans le cas présent une *ressource commune* au système d'amenée de pièces en amont du premier groupe ainsi qu'au chariot qui dessert les machines du deuxième groupe.

**légende :**

1 : machine 1, etc...

A : aucune machine du premier groupe

0 : pas de possibilité



Dans la configuration de la fiche recette n°1 (figure C-13), les pièces de type 1 peuvent passer par les machines 1 ou 3 du premier groupe, puis par les machines 2 ou 3 du deuxième groupe. Les pièces de type 2 passent directement sur l'une des machines du deuxième groupe.

Soit le cas suivant :

La configuration n°1 est en cours d'exploitation. Les conditions liées à la gestion des stocks permettent le franchissement de la transition t0-3. Le chariot charge donc une pièce à la machine 3 du groupe 1 (activation de X3). Il s'agit par exemple d'une pièce de type 1. D'après la recette, cette pièce doit être orientée soit vers la machine 2 soit vers la machine 3 du deuxième groupe. La sélection définitive se fait selon les niveaux de stocks de ces deux machines.

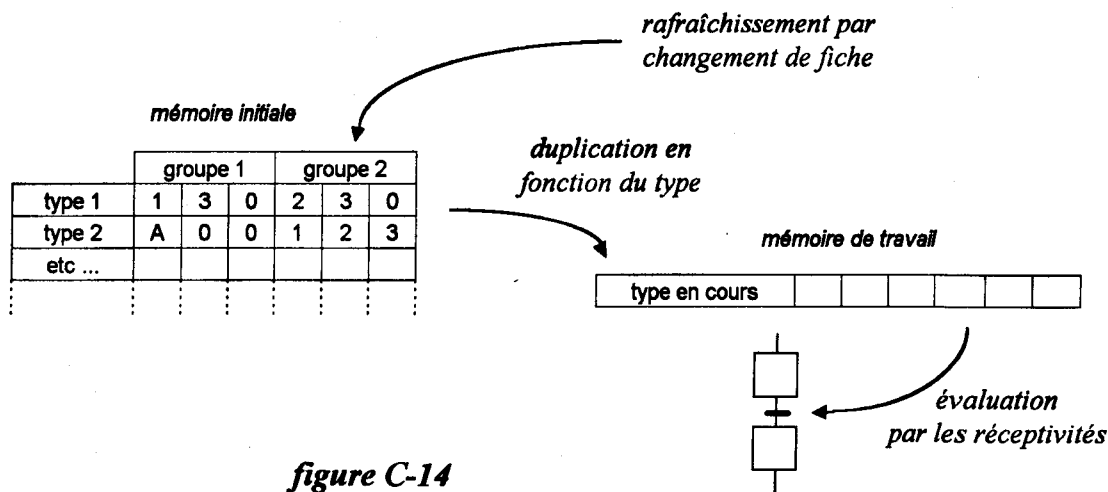
A titre d'exemple, cette condition est exprimée sous forme logique de la manière suivante :

*t5-7 = la machine2 est autorisée par la recette ET le stock2 est plus faible que le stock3*

Dans la situation décrite, seules les données relatives

- à la configuration n°1
- et au type de pièce n°1

sont significatives à cet instant. Lors de l'évaluation des réceptivités, seules ces informations sont utiles. Afin de minimiser l'expression des réceptivités, il convient donc de restreindre le nombre de paramètres. Les informations adéquates devant être disponibles au moment opportun, le grafcet doit être complété par les fonctions de gestion des données par ajout éventuel d'étapes supplémentaires. Dans cet exemple, la pièce qui vient d'être chargée sur le chariot sera identifiée à l'étape X5 et la ligne de données relative au type de pièce reconnu est dupliquée dans une mémoire temporaire, de taille limitée, seule à être évaluée par les réceptivités.



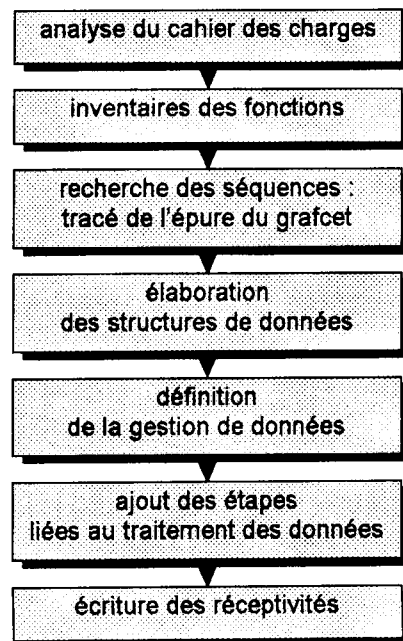
### 3 - 4. Méthodologie

Les phases successives du développement d'une application sont résumées figure C-15.

La méthode décrite nécessite :

- un tracé judicieux du grafcet, obtenu grâce à des analyses séparées des fonctions et des séquences (partie B de ce livre),

- l'établissement de *structures de données* : en cours d'exploitation, elles permettent la manipulation d'un grand nombre de situations dans des temps très brefs,
- la *gestion des données* qui garantit une plus grande simplicité des expressions des conditions d'évolution et par conséquent une excellente sûreté de conception,
- et bien entendu la combinaison du Grafcet et du paramétrage.



*figure C-15*

Les avantages sont les suivants :

- l'opération de changement de série est immédiate,
- les changements se font en cours d'exploitation, le flux de production reste fluide,
- les possibilités d'adaptation au marché sont évolutives en ne nécessitant qu'un minimum d'intervention sur le programme d'automate,
- le programme est unique,
- le grafcet comporte très peu d'étapes au vu de la variété des cycles qu'il permet,
- les modifications peuvent s'opérer pour certaines à la demande expresse d'un opérateur et pour d'autres d'une manière automatique en fonction de l'évolution de la production.