

50376  
1994  
29

50376  
1994  
29

N° d'ordre : 1249

## THESE

Présentée à l'Université des Sciences et Technologies de LILLE

en vue de l'obtention du grade de

## DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

Spécialité

Productique : Automatique et Informatique Industrielle

par

**Anne-Lise GEHIN**

Ingénieur EUDIL



### **ANALYSE FONCTIONNELLE ET MODELE GENERIQUE DES CAPTEURS INTELLIGENTS**

### **APPLICATION A LA SURVEILLANCE DE L'ANESTHESIE**

Soutenue publiquement le 26 janvier 1994 devant la commission d'examen

#### Membres du jury :

Mme M. BAYART	Maître de conférence, LAIL, USTL ( <i>Co-directrice de Thèse</i> )
MM P. ALBERTOS	Professeur, Université Polytechnique de Valence ( <i>Examineur</i> )
M. AUBRUN	Professeur, CRAN LARA, Université de Nancy 1 ( <i>Rapporteur</i> )
M. DELECROIX	Médecin Anesthésiste, CHRU de Lille ( <i>Examineur</i> )
M. DESJARDINS	Président du CIAME ( <i>Examineur</i> )
L. FOULLOY	Professeur, LAMII, Université de Savoie ( <i>Rapporteur</i> )
J. C. GENTINA	Professeur, LAIL, Ecole Centrale de Lille ( <i>Président</i> )
M. STAROSWIECKI	Professeur, LAIL, USTL ( <i>Co-directeur de Thèse</i> )

*Cette thèse a été préparée au Laboratoire d'Automatique et d'Informatique industrielle de Lille (URA 1440)*



# Remerciements

*Ce mémoire est le résultat de travaux menés au Laboratoire d'Automatique et d'Informatique industrielle de Lille (LAIL - URA 1440) sous la direction scientifique de Monsieur Marcel STAROSWIECKI, professeur à l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille avec la collaboration de Madame Mireille BAYART, Maître de Conférence à l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille. Je tiens à leur témoigner toute ma reconnaissance pour l'aide tant scientifique que morale qu'ils ont su m'apporter lors de l'encadrement efficace et chaleureux de ce travail.*

*La partie application de ce travail a été réalisée au Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille en collaboration avec les deux services d'Anesthésie et de Réanimation Chirurgicale (services de Madame le Professeur KRIVOSIC et de Monsieur le Professeur SCHERPEREEL). Je remercie l'ensemble des personnes de ces deux services qui ont manifesté de l'intérêt pour ce travail et tout particulièrement Messieurs les Docteurs Daniel CANTINEAU et Michel DELECROIX qui ont consacré une partie de leur précieux temps à me fournir des conseils éclairés dans un domaine qui m'était auparavant inconnu. Ma reconnaissance va également à Monsieur Régis LOGIER, ingénieur biomédical, pour sa précieuse collaboration et pour toute la sympathie dont il m'a gratifiée.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury qui me font l'honneur de participer à l'examen de ce travail :*

*Monsieur le Professeur Jean-Claude GENTINA, Directeur de l'Ecole Centrale de Lille et du Laboratoire d'Automatique et d'Informatique industrielle de Lille, qui me fait l'honneur de présider le jury,*

*Monsieur le Professeur Michel AUBRUN de l'Université de Nancy 1 et Monsieur le Professeur Laurent FOULLOY de l'Université de Savoie qui ont accepté la lourde tâche de rapporteur,*

*Monsieur le Professeur Pédro ALBERTOS de l'Université Polytechnique de Valence (Espagne) et Monsieur Marc DESJARDINS Président du CIAME, pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail en acceptant de participer au jury.*

*Je tiens également à exprimer ma plus profonde amitié à mes compagnons de laboratoire pour la bonne ambiance de travail et leurs conseils précieux.*

*Mes remerciements vont aussi à tous ceux qui par leur amitié ou leur gentillesse ont contribué à la réussite de ces travaux :*

- le personnel technique et administratif du LAIL,*
- le personnel de l'AREMI et du Centre de Compétence en Instrumentation Intelligente,*
- les membres du groupe de travail "Capteur Intelligent" du CIAME,*
- les enseignants du département IMA de l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille,*
- le service de reprographie de l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille.*



## Introduction générale

La connaissance de la valeur d'une grandeur physique est importante dans de nombreuses applications, qu'elles concernent les sciences physiques (mécanique, thermique ...), les sciences de la terre (météologie, tectonique des plaques ...) ou les sciences de la vie (médecine, biologie ...). Les grandeurs mesurées permettent généralement de suivre l'évolution d'un phénomène physique et conduisent un opérateur ou un système automatisé de production à prendre des décisions relatives au système ou à son environnement. On peut citer par exemple :

- l'observation des mouvements de l'écorce terrestre dans les études sismiques conduisant à la prise de mesures de prévention pour les populations,
- l'observation de l'état d'un malade amenant le médecin à administrer un traitement ou à réaliser une intervention,
- l'observation de l'évolution d'une grandeur physique conduisant le système de contrôle commande à agir sur le processus dans un Système Automatisé de Production.

Dans certains cas, l'image de la grandeur physique est fournie directement par un capteur (par exemple : température). Dans d'autres cas, il n'existe pas d'instrument permettant de mesurer directement cette grandeur et lorsque c'est possible, une image est alors élaborée à partir d'autres grandeurs. Par ailleurs, dès l'instant où l'information conduit à une prise de décision, il apparaît nécessaire de disposer d'une image aussi précise que possible du phénomène que l'on souhaite observer. Ceci passe d'une part, par l'amélioration de la qualité des grandeurs mesurées et d'autre part, par l'augmentation de leur nombre de manière à préciser l'information mise à disposition.

Une solution pour accroître la qualité de la représentation d'une grandeur consiste tout naturellement à mettre en oeuvre des capteurs produisant des informations aussi précises que possible. Ce résultat peut être obtenu grâce aux nouvelles possibilités offertes par la micro-électronique. En effet, cette dernière a permis l'émergence d'objets nouveaux (microprocesseur, microcontrôleur, etc.), intégrant des mécanismes de mémorisation et de traitement de l'information. Ces nouveaux composants numériques associés au capteur permettent la miniaturisation, l'optimisation, l'intégration de fonctions auparavant réalisées

sous forme analogique mais également la création de fonctions entièrement nouvelles. Ils concourent ainsi à l'amélioration de la qualité des signaux produits par les capteurs et par voie de conséquence à la qualité de l'image fournie. Cette représentation sera par ailleurs d'autant plus complète qu'elle est construite à partir d'un nombre élevé de variables.

Cependant, l'augmentation du nombre de producteurs de variables ne va pas sans poser quelques problèmes. Le premier est lié à la complexité des traitements qui doivent être mis en oeuvre pour reconstituer, à partir d'un ensemble de données dispersées, une information globale, le second est lié à l'acheminement des variables vers l'unité synthétisant l'ensemble des grandeurs produites par les capteurs.

Toutefois, si le capteur possède lui même une unité de traitement, il devient envisageable de distribuer certaines fonctions habituellement réalisées au sein d'une unité centrale à son niveau, c'est-à-dire là où les variables sont produites. Si le capteur a de plus, la possibilité de connaître les valeurs des données produites par d'autres entités, il pourra utiliser ces dernières pour valider ses propres données et pour élaborer des grandeurs directement utilisables par les traitements de niveau hiérarchique supérieur. Cette distribution des traitements prend de plus en plus de signification avec l'apparition des réseaux de terrain bien adaptés aux échanges entre composants de bas niveau (capteurs, actionneurs). Dans ce cas, seules les informations synthétiques et directement utilisables parviendront à un niveau supérieur.

Jusqu'à présent, nous avons envisagé de tirer profit des possibilités de traitement et de mémorisation de l'information uniquement dans un contexte où le capteur est utilisé pour produire une grandeur. Celle-ci sert à l'élaboration d'une image utilisée par un processus de décision pour générer des actions. Cependant, le rôle du capteur ne se limite pas à cet aspect. Dans un contexte d'exploitation, les grandeurs générées par le capteur peuvent bien sûr servir à la conduite et au contrôle d'un processus mais elles peuvent également être utilisées par un opérateur de maintenance en permettant la détection, l'isolation et le diagnostic de défauts, ou encore par l'opérateur de gestion de production en élaborant une image de la disponibilité opérationnelle des équipements.

Grâce aux nouvelles capacités de traitement qui lui sont conférées, le capteur est capable d'apporter des aides nouvelles à la réalisation des tâches de chaque opérateur intervenant non seulement dans un contexte d'exploitation mais également dans les autres phases de la vie du capteur (conception, installation, démantèlement ...).

Face au foisonnement des possibilités offertes par la micro-électronique, il existe de nombreuses façons pour intégrer au niveau d'un capteur toutes les fonctions nouvelles que

nous venons d'évoquer. Cependant, pour qu'un utilisateur ne soit pas dépendant d'un constructeur, il est nécessaire d'établir certaines règles de conception. Ces règles doivent permettre de décrire clairement quels sont les services rendus par un capteur ainsi que la façon dont ils sont réalisés en interne, ceci de manière à vérifier la compatibilité des instruments. Elles doivent également aboutir à la définition d'une représentation et d'une transmission de l'information commune afin que les données échangées soient comprises par chacun.

Le travail présenté ici, reprend l'ensemble de ces réflexions. Il se décompose en trois parties. La première partie, en décrivant le capteur comme un objet finalisé dont la fonction primordiale est de délivrer une mesure, puis en le situant dans un contexte de production et enfin en le considérant tout au long de son cycle de vie contribue à une présentation du capteur intelligent. La deuxième partie propose un formalisme de description du capteur intelligent de façon à faciliter sa mise en oeuvre. Il fait apparaître d'une part, un modèle interne du capteur, d'autre part, un modèle externe basé sur la notion de services. La troisième illustre et applique l'ensemble des résultats obtenus à un exemple, celui de la surveillance de l'anesthésie.



# **1ère partie**

## **Présentation du**

### **capteur intelligent**

Dans la boucle Mesure-Décision-Action, la décision est prise en fonction d'une image de l'état du processus donnée par les capteurs. Plus cette image sera proche de l'état réel du processus, mieux adaptées seront les décisions d'actions.

Pour améliorer la qualité de l'image que l'on a de l'état du processus, deux voies non exclusives sont a priori envisageables :

- l'amélioration de la qualité du signal élaboré par chaque capteur,
- l'augmentation du nombre de capteurs connectés.

Le capteur intelligent est une solution permettant de prendre en compte ces deux possibilités.

En effet, en associant au capteur classique une unité de traitement numérique, par exemple sous la forme d'un microprocesseur, on rend possible la réalisation de fonctions auparavant effectuées sous forme analogique (par exemple : le filtrage) mais on permet également l'intégration de fonctions entièrement nouvelles (par exemple : compensation des non-linéarités, prise en compte des grandeurs d'influence). Ceci permet au capteur de remplir sa fonction initiale : délivrer une mesure, avec des performances accrues. Il contribue ainsi, en partie, à l'amélioration de la qualité de la représentation de l'état du système.

La qualité de l'image du processus est également liée au nombre de données qui participent à son élaboration et à la précision des traitements qui la génèrent. Ceci va de pair avec les contraintes liées à la productivité, à la qualité et à la sécurité qui exigent des flux d'informations de plus en plus importants au niveau d'un système automatisé de production. Il s'ensuit que les traitements au niveau de la partie décision deviennent de plus en plus complexes et que les architectures classiques doivent être repensées pour favoriser une

distribution des traitements vers les instruments de terrain (capteurs et actionneurs) qui grâce aux possibilités de traitement de l'information qui leur sont associées sont en mesure de prendre en charge une partie des fonctions habituellement réalisées au niveau supérieur.

Ainsi, le capteur intelligent, né des nouvelles possibilités de traitement de données participe à l'évolution des systèmes de production vers plus de productivité et de sécurité grâce à l'amélioration de la qualité des signaux générés et par la prise en charge d'une partie des fonctions de décision.

Mais ses apports ne se limitent pas à ces deux aspects. En effet, si une grande partie de la vie du capteur se déroule dans sa phase d'utilisation au sein d'un système (système automatisé de production ou autre), il traverse de sa conception à son démantèlement un certain nombre d'autres phases (configuration, mise en service, maintenance ...) qui constituent son cycle de vie. L'analyse de ces différentes phases met en évidence que le capteur intelligent peut également rendre des services aux intervenants autres que les exploitants (constructeur, installateur, service de maintenance ...). Par conséquent, grâce aux nouvelles possibilités qui lui sont conférées, le capteur est en mesure de répondre à une partie des besoins émanant des personnels intervenant tout au long de son cycle de vie.

Ces trois aspects :

- capteur vu comme objet finalisé, c'est-à-dire à travers sa fonction primordiale qui est de délivrer une mesure,
- capteur constituant d'un système de production automatisé et capable de prendre en charge une partie des fonctions de décision,
- capteur objet industriel ayant donc un cycle de vie,

sont développés dans les trois premiers chapitres de ce mémoire. Ils contribuent à une présentation du capteur intelligent.

# Chapitre 1

## Le capteur : objet finalisé

### 1.1 : Introduction

Le développement des technologies impliquées dans la réalisation des microprocesseurs et des microcontrôleurs, associé à l'extension des possibilités informatiques, fait évoluer les systèmes de production vers une automatisation de plus en plus poussée. Jusqu'à présent, c'est au niveau de la prise de décision que la part d'automatisation a été la plus importante puisqu'on y a retranscrit les gestes de l'opérateur de contrôle sous la forme de lois, d'algorithmes et/ou de modèles de référence. Mais la performance de tels systèmes est bien sûr liée à la qualité de l'image qu'ils ont de l'état du processus de production à un instant donné. Cette représentation est élaborée par les capteurs.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le rôle fonctionnel d'un capteur, de mettre en évidence à partir de son modèle de comportement, ses performances et ses insuffisances, puis de voir comment il peut bénéficier des nouvelles possibilités offertes par la micro-électronique pour délivrer une image la plus représentative possible d'une des caractéristiques de l'état réel du processus.

### 1.2 : Modèle fonctionnel du capteur

L'ensemble des opérations qui concourent à l'évaluation d'une grandeur physique (température, pression, déplacement, etc.) est résumé par le verbe Mesurer. La grandeur physique objet de la mesure est appelée Mesurande et sera notée **m**. Un capteur est un instrument capable de traduire un mesurande en une information, notée **s**, utilisable par un opérateur ou un autre dispositif (régulateur, positionneur, etc.). De cette constatation découlent deux impératifs :

- ❑ Le capteur doit comporter une partie sensible au mesurande. Cet élément est dénommé Transducteur. Son rôle est de traduire la forme d'énergie propre au mesurande en une autre forme d'énergie (le plus souvent de nature électrique). Selon le principe sur lequel il est bâti, le transducteur peut être équivalent à un élément actif ou passif [ASCH 87]. Le transducteur a un comportement actif s'il s'appuie sur un effet physique pour assurer la conversion de l'énergie propre au mesurande en énergie électrique (par exemple : mesure de température par effet thermoélectrique, mesure de pression par effet piézo-électrique). Par contre, il est équivalent à une impédance si ce sont ses caractéristiques dimensionnelles ou géométriques et/ou les propriétés de ses matériaux (résistivité, perméabilité magnétique, constante diélectrique ...) qui sont utilisées. Dans ce dernier cas, le capteur est dit "passif" et le transducteur nécessite d'être placé dans un circuit électrique alimenté (par exemple : montage potentiométrique, pont d'impédance) pour que ses variations d'impédance soient mesurables. Ce circuit est appelé Conditionneur.
- ❑ L'information produite par le capteur est destinée à être consommée. Elle doit par conséquent être adaptée au référentiel que le consommateur utilise et être traduite sous un format compatible avec le support servant à la communication capteur-utilisateur. Ces deux fonctions sont prises en charge par un organe spécifique appelé Transmetteur. Par exemple, dans le cas de la norme 4-20 mA, le transmetteur produit un signal dont la valeur en courant varie entre 4 et 20 mA pour représenter la variation d'une information entre 0 et 100%.

Ces premières réflexions permettent de décrire la structure fonctionnelle élémentaire du capteur. Celle-ci est représentée figure I.1 selon le formalisme S.A.D.T. [IGL 88], présenté en annexe 1.

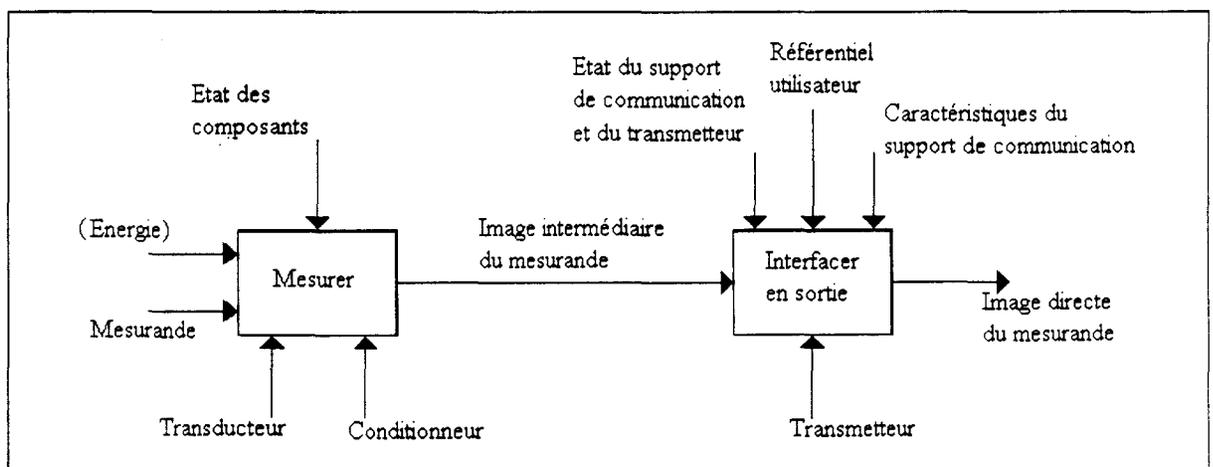


Figure I.1 : Structure fonctionnelle élémentaire du capteur.

Cette décomposition S.A.D.T. de la structure élémentaire du capteur indique que :

- La fonction Mesurer produit une **image intermédiaire du mesurande** (variation d'une force électromotrice, variation de la valeur de la résistivité ...) à partir d'une ou deux entrées. La première entrée, qui existe pour tout capteur, est le **mesurande** (température, vitesse, pression ...). La seconde entrée est l'**énergie** (électrique, pneumatique ou autre). Celle-ci n'est présente que pour les capteurs passifs où sa modification par l'action du mesurande sert à l'élaboration de la grandeur de sortie. De façon à conserver une structure commune pour les capteurs actifs et passifs, l'entrée énergie est représentée entre parenthèses. La réalisation de la fonction Mesurer fait appel aux supports de l'activité : **transducteur** et **conditionneur**. Elle n'est correctement accomplie que si l'**état des composants** est satisfaisant. L'image en sortie de la fonction Mesurer est dite intermédiaire car elle correspond uniquement à une autre forme de représentation de la valeur du mesurande et n'est pas forcément adaptée au format de celui qui l'utilise.
  
- La fonction Interfacier en sortie, quant à elle, fournit au consommateur une **image directe du mesurande**. Ce sera par exemple, le déplacement d'un index sur une échelle graduée, l'affichage ou l'impression d'un nombre, un changement de couleur. Cette nouvelle image est élaborée à partir de l'**image intermédiaire du mesurande** de façon à respecter le format imposé par le **référentiel utilisateur** et les **caractéristiques du support de communication**. Là encore, la réalisation de la fonction Interfacier en sortie, qui fait appel en support matériel au **transmetteur**, n'est satisfaisante que si l'**état du support de communication et du transmetteur** est correct.

La méthode S.A.D.T., comme on vient de le voir, permet de mettre en évidence les différentes fonctionnalités du capteur. Elle sera de nouveau utilisée dans la deuxième partie de ce document comme outil de modélisation fonctionnelle du capteur intelligent. Elle décrit ce que doit faire le capteur sans expliquer comment il le fait. Le modèle de comportement complète le modèle fonctionnel puisqu'il fournit des éléments permettant de caractériser la relation entrée / sortie du capteur.

### **1.3 : Modèles de comportement d'un capteur**

Le modèle de comportement d'un capteur décrit les mécanismes de transformation du mesurande en image directe de celui-ci. Autrement dit, il explicite la relation  $f(s,m) = 0$  où  $m$  représente le mesurande et  $s$  l'image directe du mesurande élaborée par le capteur.

Contrairement au modèle fonctionnel, le modèle de comportement dépend :

- de la nature du mesurande : le modèle d'un capteur de température utilisant l'effet thermoélectrique diffère totalement de celui d'un capteur d'humidité fondé sur la mesure d'une variation de résistivité,
- de l'environnement dans lequel s'effectue la mesure : par exemple, possibilité d'accéder directement ou non au mesurande, mesure en atmosphère humide ou sèche, mesure dans un milieu plus ou moins bruyé,
- de l'utilisateur de la grandeur élaborée par le capteur. Par exemple, l'information en sortie du capteur est de nature :
  - analogique pour un positionneur,
  - numérique pour un calculateur,
  - symbolique pour un système expert.

De plus, le fait d'une part, que le mesurande ne soit pas toujours isolable de façon parfaite des autres caractéristiques de l'environnement et d'autre part, qu'il ne soit pas directement accessible, a pour conséquence que le modèle de comportement du capteur est souvent différent de celui que l'on aimerait avoir dans le cas idéal.

#### **1.3.1 : Le capteur idéal**

Un capteur peut être qualifié d'idéal s'il fournit à chaque instant la vraie valeur du mesurande quelle que soit cette valeur. Ceci suppose au moins deux choses :

- La modélisation du phénomène physique sur lequel est construit le capteur intègre les conditions environnementales et est parfaite. En particulier, les grandeurs susceptibles d'influencer le transducteur sont connues et prises en compte (par exemple, correction en fonction de la température externe).

- ❑ Le mesurande observé n'est pas perturbé par la présence de l'instrument de mesure et évolue suffisamment lentement pour que le capteur puisse suivre fidèlement ses variations. Son comportement peut alors être qualifié de statique.

Le modèle de comportement d'un capteur idéal est présenté figure I.2.

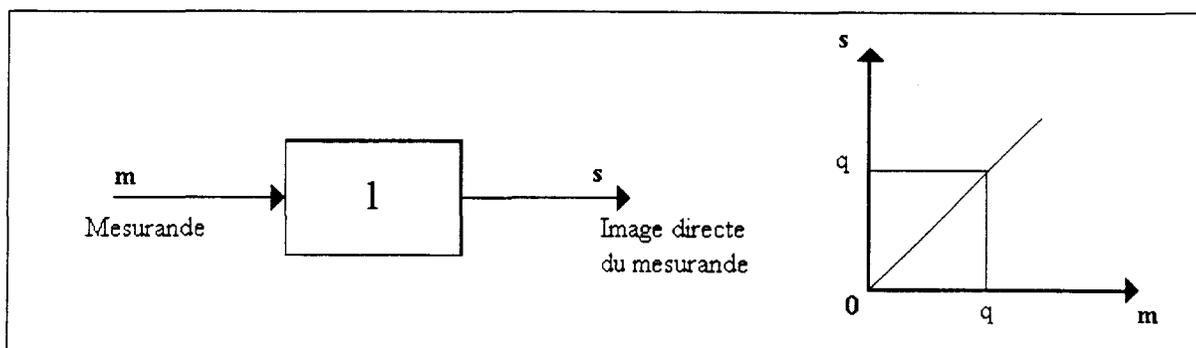


Figure I.2 : Modèle de comportement d'un capteur idéal.

Cependant, la notion de capteur idéal reste un concept théorique qui ne pourra être qu'approché dans la réalité. En effet, le capteur réel nécessite l'interconnexion d'un ensemble d'éléments afin de réaliser ses deux grandes fonctions : Mesurer et Interfacer en sortie. Or, chaque élément possède des caractéristiques propres qui déterminent le fonctionnement global du capteur et qui font que par exemple, le capteur a un comportement proche de celui du capteur idéal uniquement pour une certaine plage de mesures.

### **1.3.2 : Le capteur réel**

Le capteur réel comprend un ensemble de composants qui participent tous à l'élaboration d'une grandeur physique exploitable. La fonction Mesurer, nous l'avons vu, nécessite en support deux groupes de composants désignés par transducteur et conditionneur (cf. figure I.1).

- ❑ Le transducteur est la partie sensible au phénomène physique. Il produit ou module une grandeur relative à ce phénomène, par exemple : une charge pour un capteur de pression piézo-électrique, une résistance pour un capteur de température tel que la thermistance.
- ❑ Le conditionneur est l'élément de mise en forme de la grandeur produite par le transducteur. Il fournit un signal, le plus souvent de nature électrique. Il assure

généralement l'alimentation en courant ou en tension du transducteur à partir d'une alimentation interne (batterie) ou externe ou mixte (alimentation externe plus adaptation interne). Il assure l'atténuation ou l'amplification du signal ainsi que des opérations de traitement telles que le filtrage ou la compensation.

Chaque composant participant à la réalisation des fonctions de transduction et de conditionnement est en général modélisable sous la forme d'une transmittance définie pour un domaine de fonctionnement donné et établie en fonction de certaines conditions environnementales (taux d'humidité, température, absence ou présence de radiation, etc.). Le modèle de comportement du capteur est donc une fonction de l'ensemble des modèles de chacun de ses composants et de la modélisation des conditions environnementales.

Les parties transducteur et conditionneur peuvent être vues comme des blocs linéaires et/ou non linéaires. Par ailleurs, tout système élaborant une grandeur de sortie  $s$  en fonction d'une grandeur d'entrée  $m$  peut être représenté par un modèle statique ou dynamique. Les perturbations environnementales admissibles peuvent être considérées comme du bruit qui s'ajoute au signal. Par contre, une modification trop importante de l'environnement ou la dégradation de l'une des caractéristiques de l'un des éléments du capteur se traduit par l'impossibilité d'élaborer correctement la grandeur de sortie. Un modèle de comportement possible pour la partie transducteur-conditionneur du capteur est proposé et décrit par M.Hamad [HAMA 86]. Il est repris figure I.3.

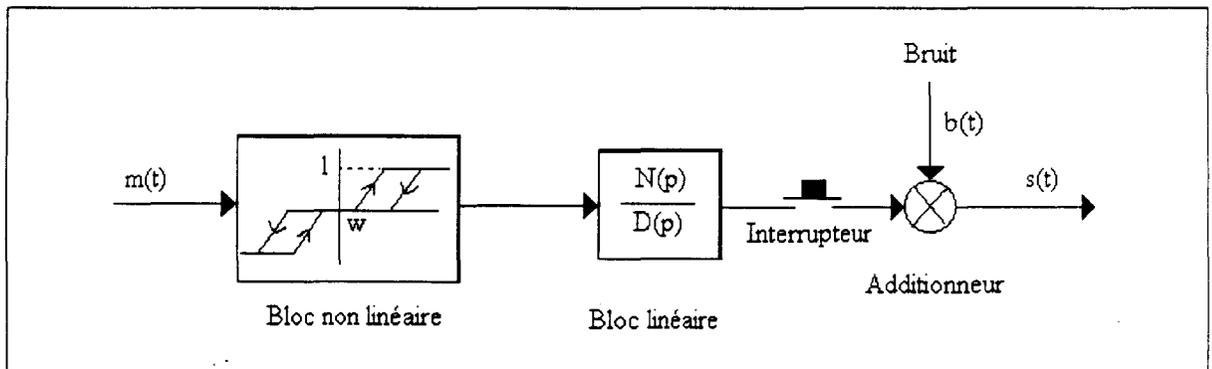


Figure I.3 : Exemple de modèle de comportement pour la partie transducteur-conditionneur d'un capteur réel (d'après M. Hamad).

Le modèle proposé figure I.3 décrit les parties transducteur et conditionneur d'un capteur. Toutefois, le signal en sortie du conditionneur doit être :

- adapté à la ligne de transmission,

- converti en une information compatible avec le système de décision lorsque le capteur est utilisé dans un système de contrôle-commande.

Ceci correspond à la réalisation de la fonction Interfacier en sortie. Elle est obtenue différemment selon le type de capteur.

### ☞ Le capteur analogique :

Les capteurs analogiques sont très répandus dans l'industrie. Ils fournissent des informations sous la forme d'une grandeur qui peut varier continûment. Le rôle du transmetteur est d'adapter le signal produit par le conditionneur au support de communication (voir exemple présenté figure I.4). Le transmetteur peut parfaitement être décomposé tout comme la partie transducteur-conditionneur (voir figure I.3) en blocs linéaire, non linéaire, interrupteur et additionneur.

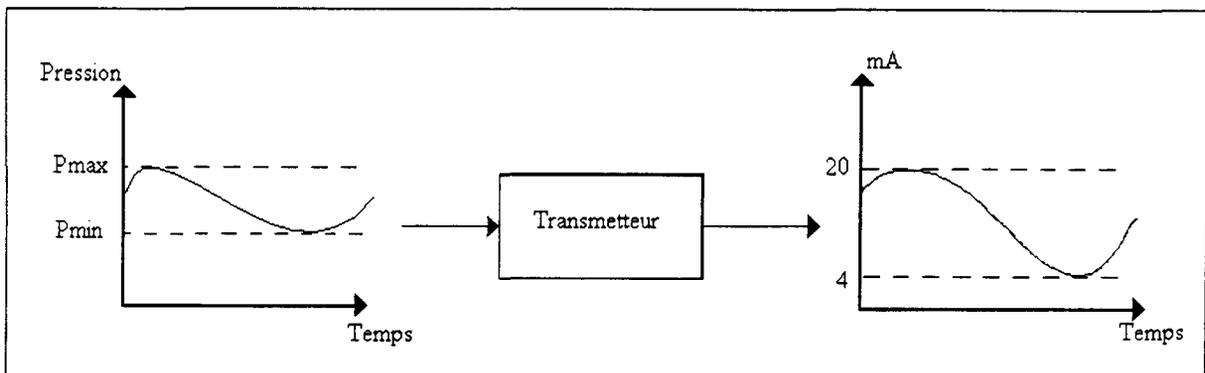


Figure I.4 : Exemple de transmetteur : conversion sous format 4-20 mA.

### ☞ Le capteur numérique :

Un capteur numérique intègre au minimum, en plus du transducteur et du conditionneur, un convertisseur analogique-numérique (C.A.N.) et une interface de communication. Pour un tel capteur, la grandeur analogique adaptée par le conditionneur est échantillonnée puis numérisée par le C.A.N.. Elle devient alors utilisable pour tout système construit autour d'un microprocesseur. Ce dernier reçoit une suite de valeurs numériques correspondant aux amplitudes de chaque échantillon, comme le montre la figure I.5. D'un point de vue comportemental, un C.A.N. est équivalent à un bloc non linéaire. En effet, son pas de progression impose un comportement non linéaire entre deux limites, l'une imposée par la valeur maximale de l'erreur de quantification, l'autre liée au nombre de bits sur lequel la conversion est réalisée. D'autre part, la durée de conversion est équivalente à un temps de réponse [TOCC 88]. Par ailleurs, l'échantillonnage du signal temporel a pour conséquence de rendre son spectre périodique. C'est pourquoi, un filtre anti-repliement doit être utilisé pour

supprimer les harmoniques supplémentaires dues à la périodicité du spectre (voir figure I.16, page 33).

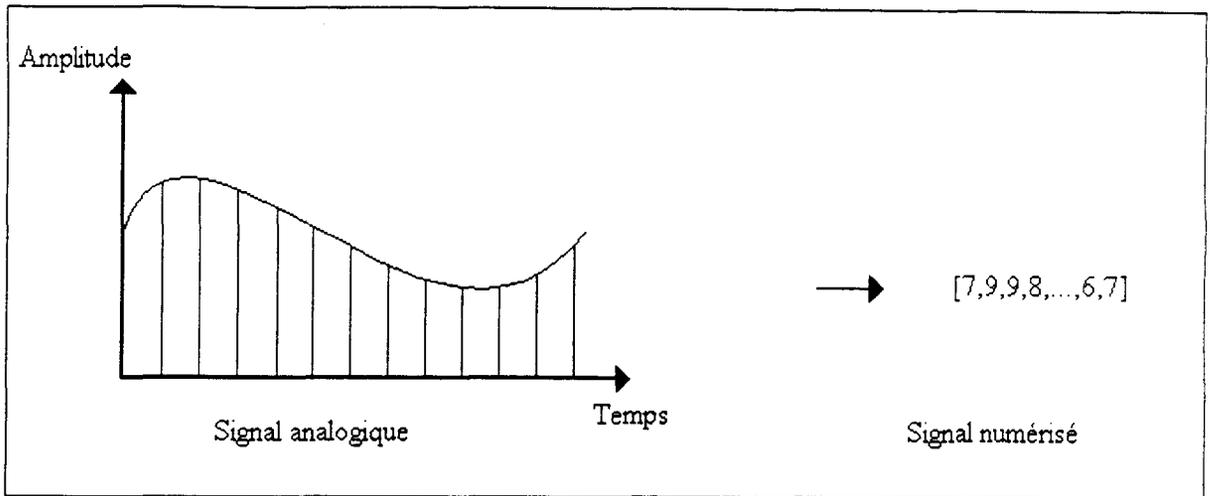


Figure I.5 : Numérisation du signal.

L'interface de communication assure la conversion de la donnée numérique sous un format compatible avec le protocole de communication lié au médium.

☞ **Le capteur symbolique :**

Un capteur symbolique intègre en plus du convertisseur analogique-numérique, un convertisseur numérique-symbolique de façon à établir un lien entre les représentations numérique et symbolique de la mesure, l'adaptant ainsi au format de connaissance utilisé par les systèmes experts [BENO 93], [FOUL 90]. Par exemple, un capteur symbolique en liaison avec un système expert de régulation de température fournit une information du type : "la température est bonne". Une illustration de conversion numérique symbolique dans le cadre d'une régulation de chauffage domestique est présentée figure I.6.

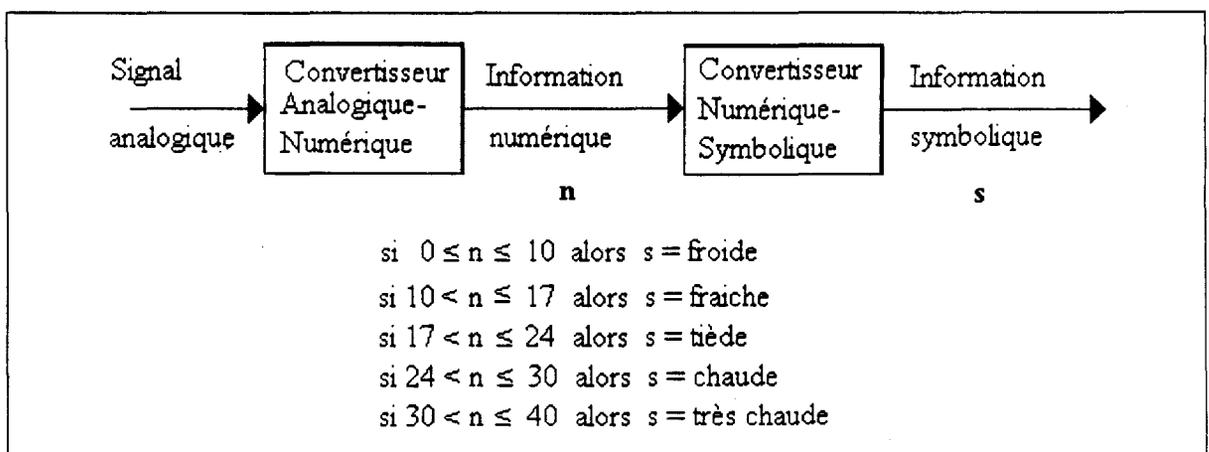


Figure I.6 : Exemple de conversion numérique symbolique pour la régulation de chauffage domestique.

Le convertisseur numérique-symbolique peut être matérialisé par un microprocesseur associé à une mémoire ROM contenant les algorithmes de conversion.

### ☞ Le capteur flou :

Le capteur flou est une extension du capteur symbolique. Il exploite les résultats issus de la théorie des ensembles flous [ZADE 65], [ZADE 73] permettant de passer graduellement d'un symbole à un autre. A chaque information numérique est associé un vecteur de degrés d'appartenance à un ensemble de symboles. Le degré d'appartenance est noté  $\mu$ . Si  $\mu_S(x)=1$  alors la valeur  $x$  appartient totalement au symbole  $S$ . Par contre si  $\mu_S(x)=0$  alors la valeur  $x$  n'appartient pas du tout au symbole  $S$ . La figure I.7 donne un exemple de partition floue. Un capteur flou fournit donc en sortie une information sous la forme d'un vecteur de degrés d'appartenance à un ensemble de symboles.

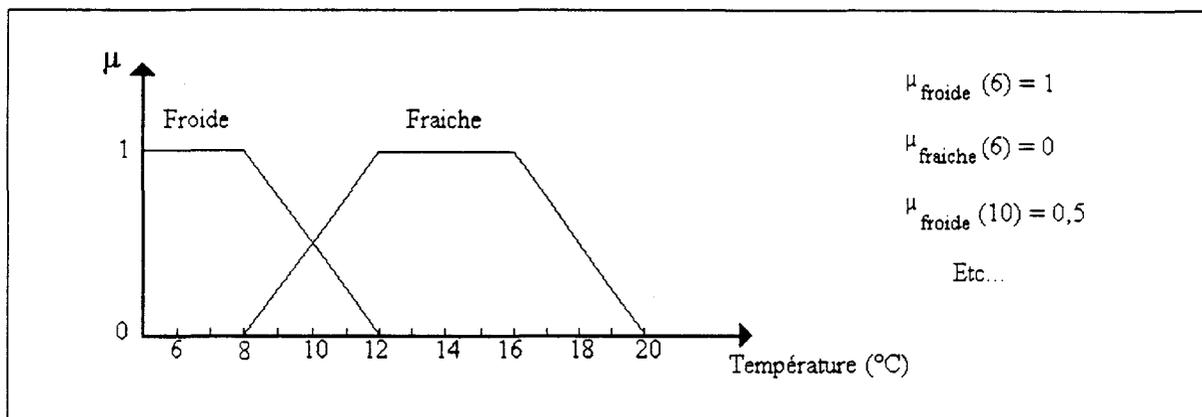


Figure I.7 : Exemple de partition floue.

Compte tenu de ces différentes possibilités, nous pouvons dire que le modèle de comportement global du capteur dépend de l'application à laquelle il est dédié. En effet, celle-ci détermine le choix des composants à intégrer dans la chaîne de mesure (type de protection, nombre de filtres, présence ou non de convertisseur ...) et par conséquent la forme de la relation  $f(m,s)=0$ .

## 1.4 : La chaîne de mesure

La chaîne de mesure est constituée de l'ensemble des dispositifs rendant possible, dans les meilleures conditions, la détermination de la valeur précise du mesurande et sa traduction

dans le format utilisateur. Elle intègre des éléments dont le rôle est de protéger la grandeur physique des influences de l'environnement (filtrage, amplification ...) [ZWIN 83], [NOIZ 91].

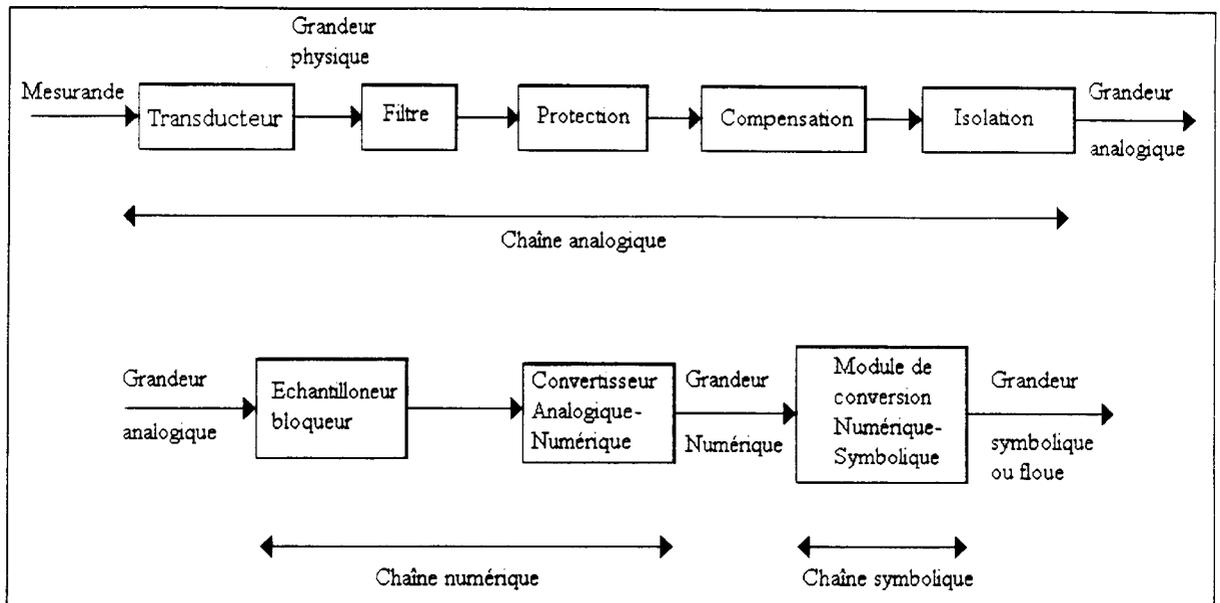


Figure I.8 : Exemples de chaînes de mesure.

La figure I.8 présente des exemples de chaînes de mesure. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que l'introduction de tout dispositif supplémentaire dans la chaîne de mesure même si elle améliore certaines performances relatives à la grandeur élaborée (par exemple, la précision) peut en limiter d'autres, notamment celles caractéristiques de ses conditions d'utilisation (par exemple : le temps de réponse). Le paragraphe suivant présente les principaux critères d'évaluation des performances ainsi que ceux qui traduisent les limites du capteur.

### **1.5 : Performances et limites d'un capteur**

Il existe plusieurs critères pour évaluer d'une façon générale les performances d'un capteur. Toutefois il est possible de les répartir en trois catégories : les critères métrologiques, les critères d'utilisation et les critères de sûreté de fonctionnement, selon que l'on désire caractériser plus particulièrement la grandeur élaborée par le capteur, les conditions d'utilisation de l'instrument ou son aptitude à remplir sa fonction.

### **1.5.1 : Critères métrologiques** [ASCH 87], [AFNOR 84]

Les critères métrologiques sont utilisés pour caractériser la plus ou moins bonne concordance entre la valeur mesurée et la vraie valeur du mesurande. Ils sont liés à l'importance et à la nature des erreurs de mesure.

#### **1.5.1.1 : Les erreurs de mesure**

L'erreur de mesure représente l'écart entre la valeur mesurée et la valeur vraie du mesurande.

- ❑ La valeur vraie du mesurande est celle qui détermine l'excitation du capteur. Les seuls mesurandes dont les valeurs vraies sont connues sont les grandeurs étalons dont les valeurs sont fixées par convention.
- ❑ La valeur mesurée est donnée en sortie du capteur. Elle est entachée des erreurs dues aux imperfections des éléments de la chaîne de mesure qui dégradent le signal au cours de son traitement, à l'influence du capteur sur le mesurande.

L'erreur de mesure ne peut qu'être estimée [CUNN 81]. Par conséquent, la valeur vraie du mesurande ne peut qu'être approchée et ne sera jamais connue de façon parfaite. On distingue conventionnellement deux grandes catégories d'erreur de mesure : les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles.

- ❑ L'erreur systématique introduit, pour une valeur donnée de la grandeur à mesurer, un décalage entre la valeur vraie et la valeur mesurée. Elle est soit constante (biais), soit à variation lente par rapport à la durée de mesure (dérive). Elle peut provenir par exemple, du décalage du zéro, du vieillissement du capteur, de la perturbation engendrée par la présence du capteur.
- ❑ L'erreur accidentelle est caractérisée par une amplitude, un signe et une apparition aléatoires. Certaines de ses causes peuvent être déterminées mais leurs influences sur la grandeur mesurée restent souvent inconnues. On peut citer comme exemple d'erreur accidentelle, l'erreur de lecture sur un appareil à déviation (parallaxe), les erreurs dues aux fluctuations de tension des sources d'alimentation modifiant les performances des appareils de mesure.

Il existe trois critères permettant de juger de l'importance plus ou moins grande des erreurs de mesure pour un même appareil.

### 1.5.1.2 : La fidélité

Un appareil est fidèle si la dispersion des résultats lors du mesurage, dans des conditions identiques, d'une même valeur (inconnue) du mesurande est faible. L'écart type calculé sur  $N$  mesures d'un mesurande  $m$  permet d'apprécier quantitativement la fidélité comme le montre la figure I.9 où  $p(s)$  représente la fréquence d'apparition de la valeur  $s$  pour les  $N$  mesures. La dispersion des mesures résulte des erreurs accidentelles.

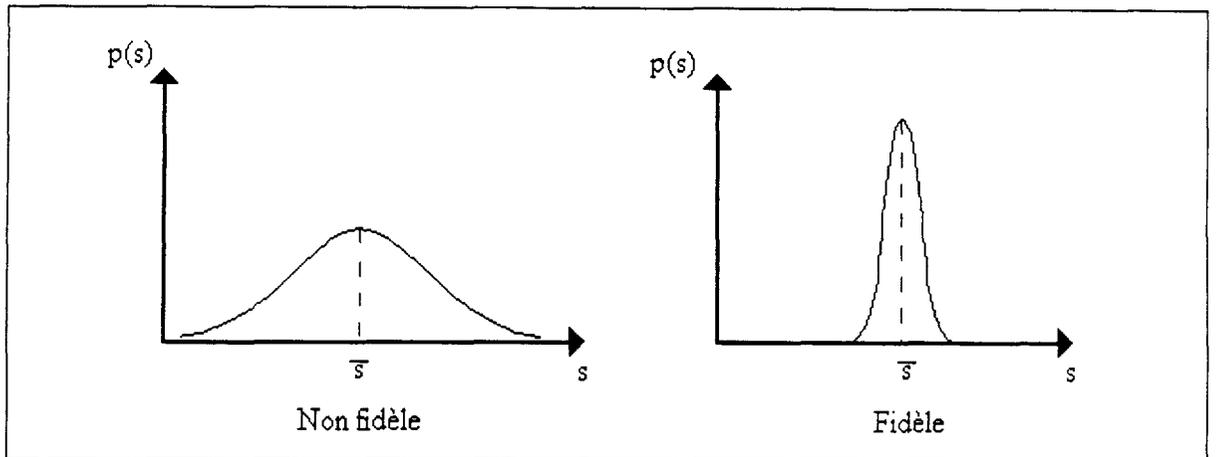


Figure I.9 : Illustration du critère de fidélité.

### 1.5.1.3 : La justesse

Un appareil est juste si la valeur qu'il attribue au mesurande par moyennage sur  $N$  mesures réalisées dans des conditions similaires est très proche de la valeur vraie (voir figure I.10). Par conséquent, un appareil est juste si ses erreurs systématiques sont réduites.

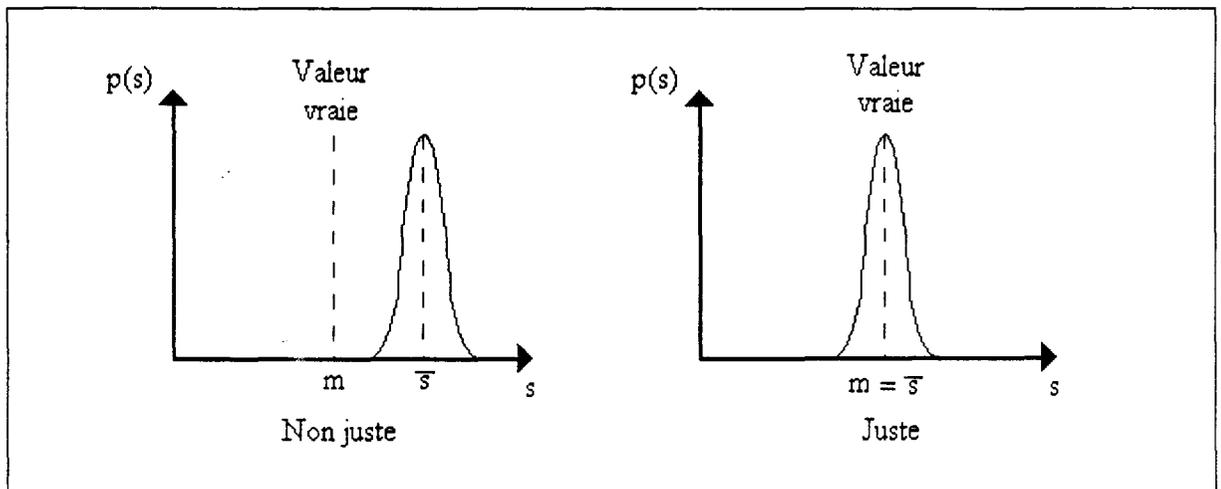


Figure I.10 : Illustration du critère de justesse.

### **1.5.1.4 : La précision**

Un appareil est précis s'il est à la fois juste et fidèle. Un tel appareil fournit donc des résultats qui individuellement sont proches de la valeur vraie (voir figure I.11).

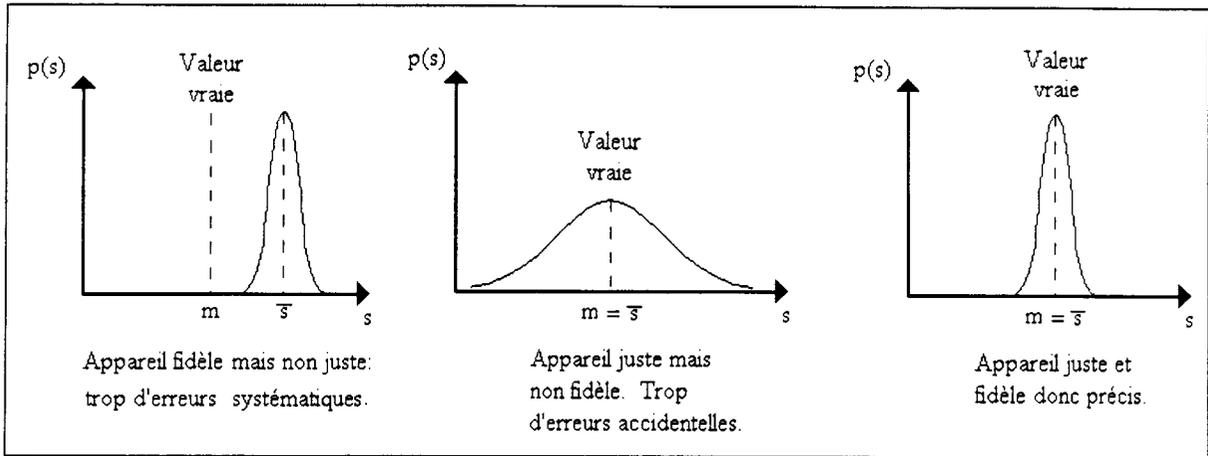


Figure I.11 : Illustration du critère de précision.

La précision peut être spécifiée numériquement par l'erreur de précision. Elle est calculée compte tenu de toutes les causes d'erreurs possibles (systématiques ou accidentelles). Elle délimite l'intervalle autour de la valeur mesurée, à l'intérieur duquel on est assuré de trouver la valeur vraie. Cependant, étant donné que la majeure partie des erreurs de mesure résulte du comportement non idéal des composants, la précision affirmée n'est garantie pour chaque capteur que sous le respect de certaines conditions d'utilisation.

## **1.5.2 : Critères d'utilisation**

Chaque capteur est placé dans un environnement qui diffère selon l'application à laquelle il est dédié. Les contraintes mécaniques, thermiques, électriques ou autres, qu'elles naissent de l'environnement ou qu'elles soient imposées par le processus de transformation de l'énergie liée au mesurande, font que l'utilisation du capteur est soumise à des conditions particulières. Il existe plusieurs critères pour traduire les insuffisances des capteurs.

### **1.5.2.1 : Les conditions environnementales**

Le capteur, en fonction du milieu dans lequel il est placé, peut être sensible non seulement au mesurande mais également à d'autres grandeurs physiques qui faussent la grandeur élaborée en sortie s'il n'en est pas tenu compte. Ces grandeurs liées aux conditions environnementales,

qui peuvent perturber l'information générée sont appelées grandeurs d'influence ou grandeurs secondaires par opposition au mesurande qui est dénommé grandeur principale. Ce sont, par exemple :

- la température qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants,
- l'humidité qui influe sur certaines propriétés électriques comme la constante diélectrique ou la résistivité.

Par conséquent, les conditions environnementales (par exemple,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $15\% < \text{Humidité} < 25\%$ ) sont spécifiées pour un capteur donné et garantissent à l'utilisateur, s'il les respecte, un fonctionnement correct de son appareil de mesure en concordance avec la précision annoncée.

On peut également considérer comme grandeur d'influence, le temps ou le nombre d'utilisations qui peuvent entraîner certaines dérives du fonctionnement des composants.

### **1.5.2.2 : La finesse**

Le signal élaboré par le capteur peut être influencé par une partie des grandeurs physiques caractéristiques de l'environnement mais il se peut également que la présence même du capteur influence le mesurande. Le critère de finesse exprime alors, l'aptitude du capteur à donner la valeur de la grandeur à mesurer sans modifier celle-ci par sa présence. La finesse est par exemple, fonction du volume mort pour un capteur de pression. En particulier, elle est dans ce cas, d'autant meilleure que le rapport volume mort sur volume de l'enceinte, où la pression est mesurée, est faible. Elle est liée aux conditions expérimentales.

### **1.5.2.3 : L'étendue de mesure**

Les conditions environnementales et la finesse sont deux critères qui traduisent le fait que la valeur vraie du mesurande n'est pas toujours évaluable de façon correcte soit parce que le mesurande est difficilement isolable des autres caractéristiques du milieu physique, soit parce que le capteur lui même influence le mesurande. D'autres critères mettent en avant certaines insuffisances liées aux caractéristiques des éléments de la chaîne de mesure, en particulier celles qui découlent du comportement linéaire ou non linéaire des composants. C'est le cas de l'étendue de mesure qui définit une plage de variations possible pour le mesurande dans laquelle le fonctionnement du capteur est garanti conforme à des spécifications données. Par exemple, une précision de 2% peut être affirmée pour un capteur de température entre  $20^{\circ}\text{C}$  et  $50^{\circ}\text{C}$ . Elle résulte des seuils et saturations provoqués par les blocs non linéaires (cf. figure

I.3). Le seuil minimal ou zone morte introduit par un composant non linéaire implique que le capteur est insensible aux valeurs du mesurande qui ne sont pas au moins égales à la valeur seuil (la sortie du capteur reste nulle au bruit près). La saturation quand à elle, entraîne que le capteur fournit toujours la même valeur (aux incertitudes de mesures près) lorsque le mesurande dépasse une valeur donnée.

#### **1.5.2.4 : Domaine de non-détérioration, domaine de non-destruction**

L'étendue de mesure définit le domaine nominal d'utilisation. On peut lui adjoindre les notions de domaine de non-détérioration et de domaine de non-destruction. Le domaine de non-détérioration est défini par les valeurs limites que peut atteindre la grandeur à mesurer sans que les caractéristiques métrologiques du capteur ne soient altérées. Par contre, le domaine de non-destruction est défini par les valeurs limites que peut atteindre la grandeur à mesurer sans qu'il y ait destruction du capteur mais avec dégradation possible des caractéristiques métrologiques.

#### **1.5.2.5 : La sensibilité**

L'étendue de mesure résulte des seuils minimal et maximal imposés par les blocs non linéaires. Cependant, entre ces deux seuils, la sensibilité peut être ou non constante.

De façon générale, la sensibilité  $S_i$  est définie, autour d'une valeur donnée  $m_i$  du mesurande, par le rapport de la variation  $\Delta s$  de la grandeur de sortie à la variation  $\Delta m$  du mesurande qui lui a donné naissance.

$$S_i = \left[ \frac{\Delta s}{\Delta m} \right]_{m=m_i}$$

La sensibilité peut en outre, être fonction de paramètres additionnels lorsque ces derniers influencent la réponse du capteur. Par exemple, un capteur constitué d'éléments semi-conducteurs (donc particulièrement sensibles à la température) sera spécifié :

- d'une part, à une température donnée ,
- d'autre part, par son coefficient de variation thermique.

Par exemple :  $S = 155$  à  $24^\circ\text{C}$  et  $\frac{1}{S} \frac{dT}{dS} = -2,3 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

On remarquera que le fait de définir la sensibilité autour d'un point de fonctionnement permet de prendre en compte la non-linéarité de certains capteurs. Une non-linéarité se traduit donc par une sensibilité non constante, par exemple,  $S = 0,39 \Omega/^\circ\text{C}$  à  $0^\circ\text{C}$  et  $S = 0,38 \Omega/^\circ\text{C}$  à

130 °C, le facteur d'échelle liant la grandeur de sortie à la grandeur d'entrée est alors différent de 1 et peut être une fonction du mesurande (voir figure I.12), ce qui ne facilite pas l'utilisation du capteur.

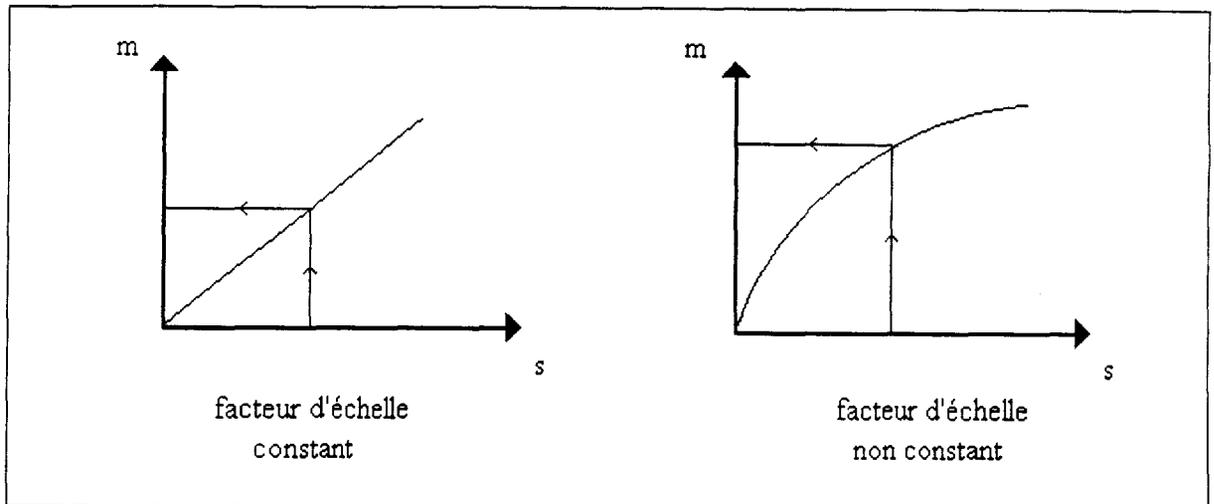


Figure I.12 : Exemples de facteurs d'échelle.

Par ailleurs, la sensibilité ne peut pas être établie pour les capteurs présentant une hystérésis. L'hystérésis est mise en évidence par le bloc non linéaire du modèle de comportement. En effet, celui-ci montre que pour une même valeur du mesurande, les réponses en sortie peuvent être différentes. L'hystérésis est un comportement qui peut résulter de jeux mécaniques, de phénomènes magnétiques, etc..

#### **1.5.2.6 : La mobilité - la résolution**

La mobilité et la résolution sont deux caractéristiques à rapprocher de la sensibilité. La mobilité caractérise l'aptitude d'un appareil à répondre à de petits changements de la valeur du mesurande. La résolution quant à elle, correspond à la plus faible valeur du mesurande à laquelle une valeur numérique peut être assignée sans interpolation.

#### **1.5.2.7 : Le temps de réponse**

Si l'étendue de mesure et la sensibilité traduisent le comportement statique des composants, le temps de réponse, quant à lui, est une caractéristique imposée par les blocs dynamiques. Il permet d'apprécier de quelle façon la grandeur élaborée par le capteur suit les variations du mesurande dans le temps. Il est évalué à partir du temps qui s'écoule, lorsque l'on soumet le capteur à une variation brusque (échelon) du mesurande, avant que sa sortie n'atteigne un pourcentage fixé (par exemple, 95%) de sa réponse finale (stationnaire) (voir figure I.13).

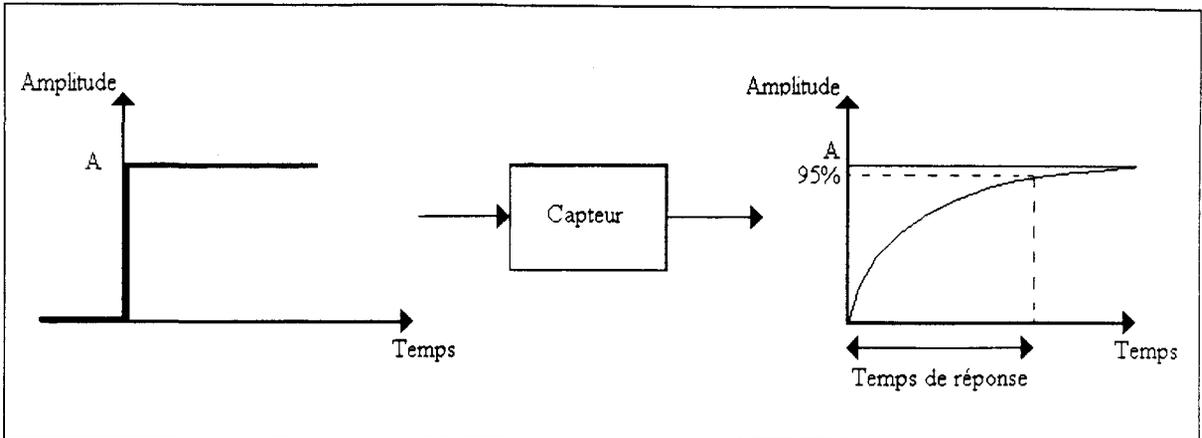


Figure I.13 : Représentation du temps de réponse.

### **1.5.2.8 : La fréquence de coupure**

La fréquence de coupure est un critère supplémentaire pour exprimer le comportement dynamique du capteur. En effet, un capteur est généralement assimilable à un filtre passe-bas, donc caractérisé par une fréquence de coupure (cf. figure I.14) qui correspond à la fréquence d'un signal sinusoïdal que le capteur peut suivre "sans atténuation".

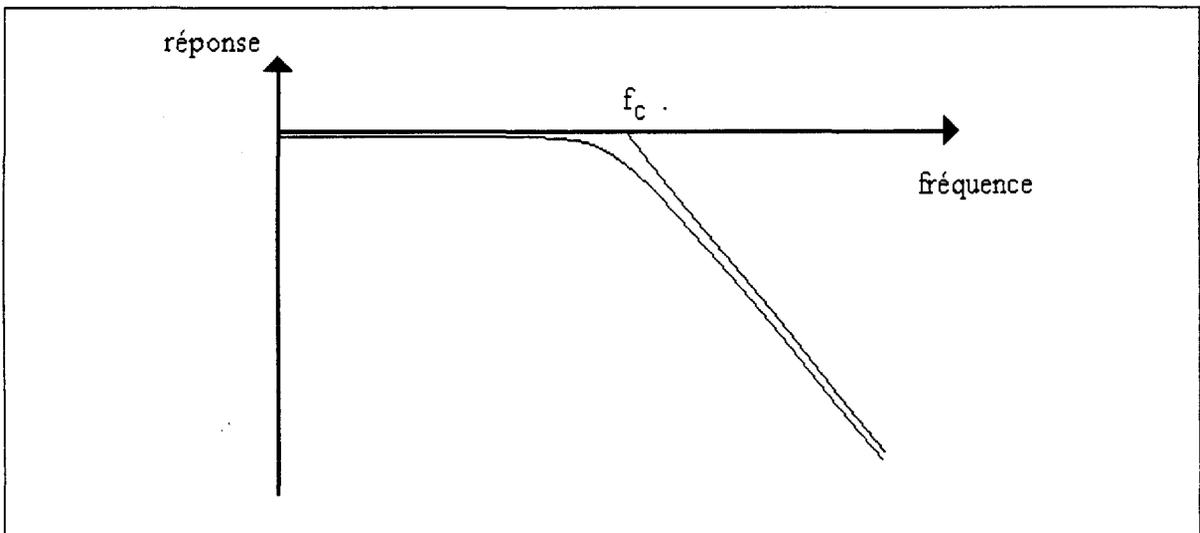


Figure I.14 : Exemple de réponse fréquentielle d'un capteur.

Les critères présentés ci-dessus définissent les conditions dans lesquelles un capteur doit être utilisé (conditions expérimentales, grandeurs mesurables, vitesse de variation possible pour le mesurande, etc.) ainsi que la crédibilité (au travers de la précision) qui doit être accordée au

résultat. Cependant, l'ensemble de ces critères est évalué à partir de l'hypothèse où le capteur remplit normalement sa fonction (en particulier dans le cas où aucun composant n'est défaillant). Une dernière catégorie de critères basée sur la sûreté de fonctionnement permet de juger de l'aptitude de l'instrument à accomplir sa mission.

### **1.5.3 : Critères de sûreté de fonctionnement**

De façon générale la sûreté de fonctionnement rend compte de l'aptitude d'un système à remplir sa mission. Elle peut s'analyser (voir figure I.15) selon deux critères principaux : la disponibilité (fiabilité et maintenabilité), dont l'objectif est de minimiser les risques de problèmes, et la crédibilité (sûreté et intégrité), qui vise à garantir un comportement en cas de problème [DELM 93]. Pour un capteur, l'analyse de la sûreté de fonctionnement repose sur l'identification des défaillances qui peuvent affecter ses composants, puis sur l'étude des combinaisons de ces défaillances susceptibles d'entraîner la mise en panne de l'instrument.

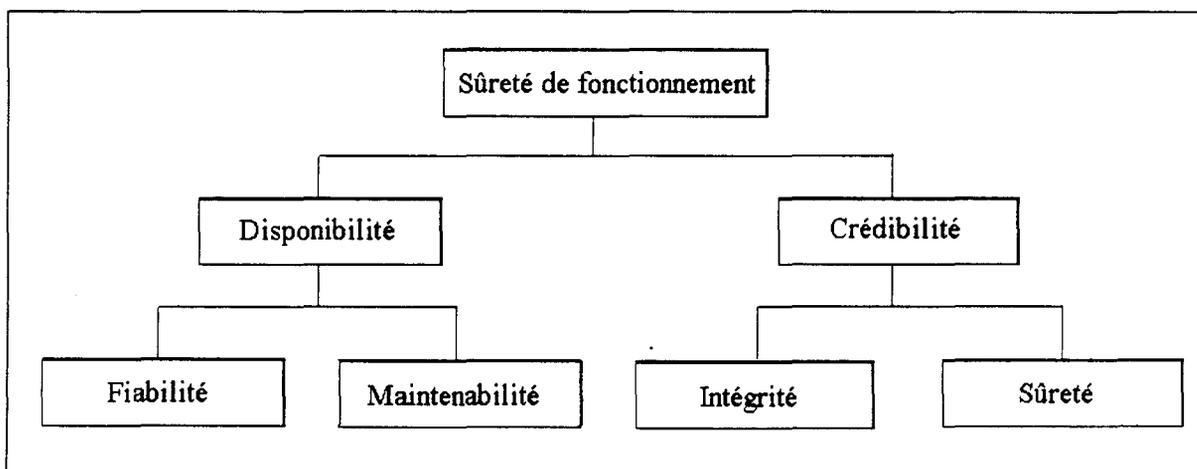


Figure I.15 : Les critères de sûreté de fonctionnement

#### **1.5.3.1 : La fiabilité**

La fiabilité caractérise l'aptitude du système à exécuter les tâches qui lui sont attribuées, dans des conditions de fonctionnement et d'environnement définies, à un instant donné ou sur une durée définie.

Elle est caractérisée par la MTBF (Mean Time Between Failure) : Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement et par le taux de défaillance  $\lambda$  défini par la relation :

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

La connaissance du taux de défaillance provient de sources bibliographiques, de recueils de données en exploitation, d'essais spécifiques ou d'évaluation par jugement d'expert.

### **1.5.3.2 : La maintenabilité**

Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un système à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits (norme Afnor X-60-010).

Elle est caractérisée par la MTTR (Mean Time To Repair) : Moyenne des Temps Techniques de Réparation et par le taux de réparation  $\mu$  défini par la relation :

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}}$$

Le taux de réparation peut être évalué à partir de critères de maintenabilité, entre autres :

- l'interchangeabilité, la normalisation des composants,
- la modularité de l'architecture,
- le type de technologies (classiques ou non) et leur nombre,
- les temps de localisation, de diagnostic, de dépannage,
- l'aptitude au démontage (accès, outillages non spéciaux ...),
- l'absence de réglage complexe après démontage.

### **1.5.3.3 : La disponibilité**

La disponibilité  $D$  est la probabilité de bon fonctionnement d'un système à l'instant  $t$ . Elle est reliée à la fiabilité et à la maintenabilité par les relations suivantes :

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

$$D = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

### **1.5.3.4 : L'intégrité**

D'une façon générale, l'intégrité est l'aptitude du système à exécuter correctement les tâches qui lui sont attribuées et à informer d'un quelconque de ses états pouvant conduire à une situation contraire.

L'intégrité suppose que toute panne interne soit signalée à l'opérateur. Elle nécessite l'implantation d'algorithmes d'auto-surveillance permettant au capteur de valider son propre fonctionnement.

#### **1.5.3.5 : La sûreté**

La sûreté est la capacité du système à refuser toute entrée non autorisée ou incorrecte et à pouvoir éventuellement en informer.

Dans le cas d'un capteur, la sûreté peut s'exprimer par des éléments de protection (par exemple, fusible contre une sur-alimentation, butées maximale et minimale de réglage d'un potentiomètre d'ajustage de gain).

#### **1.5.3.6 : La crédibilité**

La crédibilité regroupe les notions d'intégrité et de sûreté. Elle est définie comme l'assurance fournie par le dispositif de sa capacité à reconnaître et signaler son état (correct ou incorrect) et à résister à des entrées non autorisées ou incorrectes.

#### **1.5.3.7 : La durabilité**

Les critères précédents peuvent être complétés par un dernier : la durabilité. La durabilité est définie comme la durée de vie potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données (NF X50-500).

Nous venons de montrer qu'il est possible de caractériser les performances d'un capteur et par conséquent d'en donner les limites, selon trois points de vue :

- les critères métrologiques qui évaluent l'écart maximal entre la grandeur mesurée et la valeur vraie du mesurande,
- les critères d'utilisation qui permettent de juger de l'adéquation de l'instrument à l'application,
- les critères de sûreté de fonctionnement qui évaluent l'aptitude du capteur à fournir les résultats attendus.

Toutefois, une autre insuffisance demeure dans le domaine de la mesure : l'inaccessibilité à l'évaluation directe de certains mesurandes, la plupart du temps parce qu'il n'existe pas de principe physique permettant de les mesurer correctement compte tenu des conditions

expérimentales. Par exemple, il n'existe pratiquement pas à l'heure actuelle de capteur retranscrivant les sensations olfactives et gustatives [PEAR 93].

Cependant, les progrès réalisés dans les domaines :

- des sciences des matériaux : effets offerts par de nouveaux matériaux exploitables pour réaliser des transducteurs,
- de la micromécanique : miniaturisation des transducteurs,
- de la micro-électronique : technologies VLSI, banalisation des microprocesseurs ,

associés au développement des techniques numériques, permettent d'envisager une amélioration des performances et un accroissement des possibilités des capteurs [BAIL 92], [NAJA 91].

## **1.6 : Les améliorations possibles**

Plusieurs voies sont envisageables en vue de l'amélioration des possibilités des capteurs.

- La première consiste à élaborer de nouveaux transducteurs soit pour améliorer les conditions de mesure (moindre influence aux perturbations environnementales, par exemple) ou tout simplement pour pouvoir mesurer des grandeurs qui n'étaient pas accessibles auparavant. La mise en oeuvre de ces nouveaux transducteurs repose sur les nouvelles possibilités d'usinage (micromécanique) ainsi que la naissance de nouveaux matériaux (céramiques et matières organiques) et sur l'exploitation des effets nouveaux offerts par ces matériaux [ICHI 90], [MENZ 93].
- Une deuxième solution pour l'accroissement des performances des capteurs consiste à développer et à intégrer des composants analogiques (filtres, amplificateurs, etc.). Mais cette technique reste limitée puisque les défaillances et les dérives des éléments sont toujours possibles.
- Une troisième voie pour l'amélioration des performances des capteurs consiste à exploiter les nouvelles possibilités offertes par la micro-informatique qui s'expriment en termes de traitement numérique de l'information, de communication numérique et de mémorisation de données. Cette voie semble particulièrement prometteuse. En effet, d'une part, les nouvelles possibilités évoquées prennent place dans des composants toujours plus miniaturisés et banalisés et d'autre part, l'information produite par le capteur doit de plus en plus souvent être numérisée pour être exploitée

par les systèmes automatisés de contrôle commande. Ainsi, en associant au capteur une unité de traitement numérique, il devient possible d'accroître ses performances par la réalisation de nouvelles fonctionnalités [MAUR 93]. Les améliorations se répercutent aussi bien sur la fonction Mesurer que sur la fonction Interfacer.

- Enfin une dernière possibilité, qui découle également des possibilités de traitement numérique consiste à réaliser des instruments (capteurs virtuels, multicapteurs) capable de fournir à l'opérateur les valeurs de grandeurs non accessibles auparavant, élaborées à partir de grandeurs mesurées et de modèles mathématiques.

### **1.6.1 : Amélioration de la fonction Mesurer**

Avant d'être communiquée, la grandeur élaborée par le capteur doit être autant que possible, l'image la plus proche de la valeur du mesurande. Ceci nécessite, soit l'insertion dans la chaîne de mesure, de dispositifs ayant la capacité de préserver le signal des diverses dégradations qu'il peut subir, soit l'implémentation de fonctionnalités numériques de traitement du signal. Les techniques numériques seront favorisées lorsqu'elles évitent d'ajouter des composants supplémentaires, dans le souci de limiter le risque de défaillance et donc d'améliorer la sûreté de fonctionnement et de favoriser la faible dimension des capteurs.

Les améliorations portent sur la protection du signal (amplification, adaptation, filtrage), sur la prise en compte des grandeurs d'influence, des dérives et des non-linéarités (autocompensation, autocalibration, multiplexage) et sur la génération de grandeurs virtuelles (modélisation).

#### **1.6.1.1 : L'amplification**

Le signal issu du transducteur est généralement de faible puissance. Il nécessite une amplification avant transmission à toute autre unité non seulement pour réduire l'influence du bruit environnant mais également de façon à obtenir une utilisation pleine échelle du convertisseur analogique-numérique. L'utilisation d'amplificateurs réalisés en technologie CMOS (faible consommation) est tout à fait appropriée à la réalisation de "capteurs intégrés" spécialement dans les applications biomédicales où le faible encombrement d'une part, et l'amplification du signal d'autre part sont deux contraintes essentielles à prendre en compte.

### 1.6.1.2 : L'adaptation

En plus de l'amplification du signal s'ajoute bien souvent l'adaptation d'impédance. Elle est nécessaire pour diminuer l'impédance de sortie et ainsi assurer une transmission maximale du signal vers l'étage suivant. Elle permet également de réduire l'influence du bruit extérieur sur le signal. Souvent, l'amplification du signal et l'adaptation d'impédance peuvent être réalisées par le même circuit (par exemple, en technologie CMOS).

### 1.6.1.3 : Le filtrage

Le filtrage du signal peut également être intégré au niveau de ces amplificateurs-adaptateurs. Il contribue lui aussi à l'amélioration du rapport signal sur bruit et permet de ne garder que la composante intéressante du signal. Il peut être réalisé de façon analogique ou par des méthodes numériques. Par ailleurs, l'échantillonnage d'un signal  $v(t)$  à une période  $T_e$  a pour conséquence de rendre son spectre  $V(f)$  périodique de période  $f_e = \frac{1}{T_e}$  (voir figure I.16).

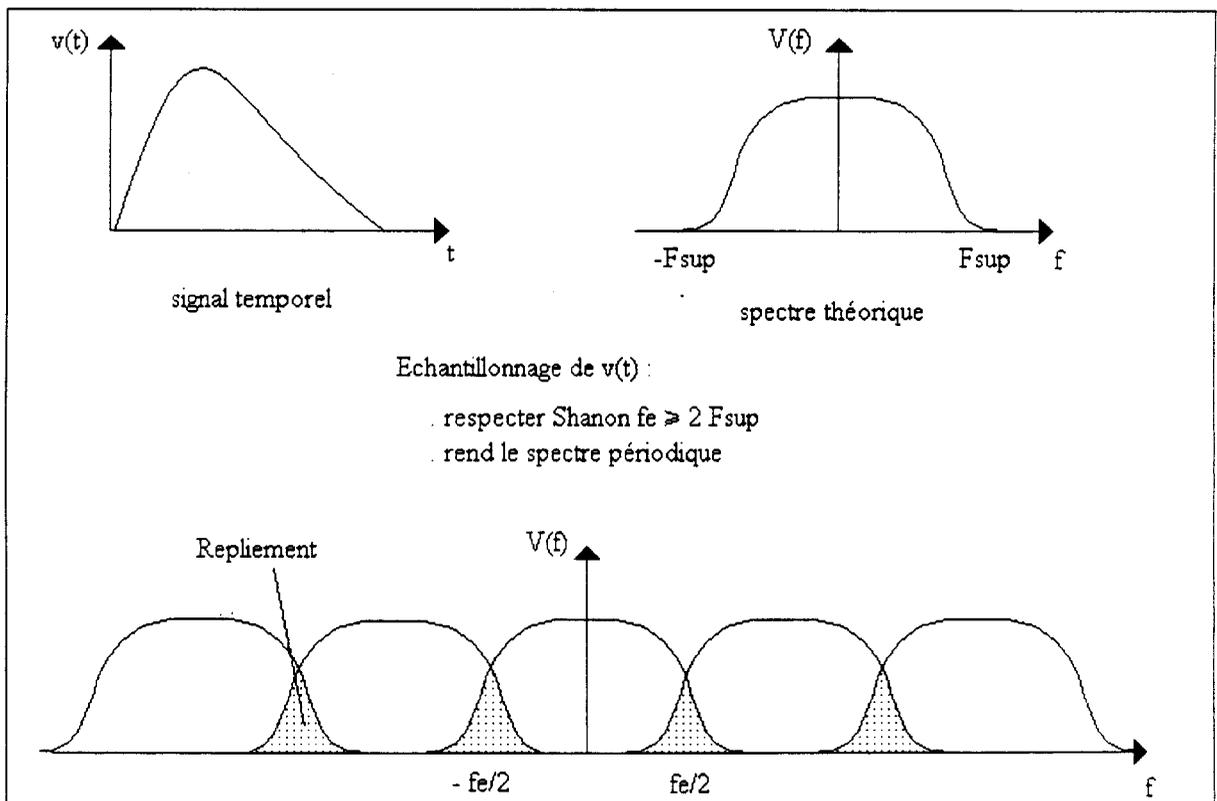


Figure I.16 : Illustration du phénomène de repliement.

Le repliement dû à la périodicité du spectre peut être supprimé par un filtre passe-bas limitant la bande passante du signal avant échantillonnage. [KUNT 81].

#### **1.6.1.4 : L'autocompensation**

L'amplification, l'adaptation et le filtrage ont pour rôle essentiel d'améliorer le rapport signal sur bruit et ainsi d'augmenter la précision du capteur. L'autocompensation des grandeurs mesurées contribue également à l'amélioration de la précision puisqu'elle permet de compenser les grandeurs d'influence, la non-linéarité, l'hystérésis, le bruit et certaines dérives des composants. Elle est réalisée à l'aide de coefficients, de lois de correction, de modèles de référence directement implantés dans les mémoires associées à l'unité de traitement numérique.

Pour certains capteurs évolués, l'autocompensation des grandeurs d'influence peut se faire à l'aide de micro-actionneurs [BOET 89]. L'unité de traitement numérique élabore une commande à l'actionneur jusqu'à ce qu'il y ait équivalence entre la grandeur mesurée et la grandeur compensée par le micro-actionneur. Ce procédé est par exemple utilisé pour les microbalances.

#### **1.6.1.5 : L'autocalibration**

L'autocalibration est une notion très proche de l'autocompensation. Elle concerne le réglage des valeurs de gain et d'offset d'un capteur, qui sont susceptibles de dériver dans le temps. L'autocalibration peut être réalisée de deux manières :

- la première consiste à générer en entrée un signal de caractéristiques connues et à intégrer au niveau du capteur des micro-actionneurs de façon à ce qu'ils ajustent les paramètres en boucle fermée,
- la seconde qui nécessite moins de technologie et de circuiterie, consiste à stocker les coefficients des lois de correction dans une mémoire intégrée au capteur.

#### **1.6.1.6 : Le multiplexage**

Le moyen le plus sûr pour connaître la valeur d'une grandeur d'influence est de la mesurer. Ceci est rendu possible grâce aux progrès réalisés dans les domaines de la micro-électronique et de la micromécanique qui permettent de réduire considérablement la taille des transducteurs tout en les rendant plus performants. Ceci permet d'introduire au niveau du capteur plusieurs transducteurs ou tout au moins, une unité de transduction sensible à plusieurs phénomènes physiques (pression, température, etc.). De ce fait, pour éviter d'augmenter le nombre de sorties proportionnellement au nombre de paramètres mesurés, on ajoute au capteur une fonction de multiplexage. Cette fonction permet également le partage du C.A.N. entre

plusieurs signaux et la superposition d'une partie d'entre eux (par exemple : horloge et signal de contrôle).

### **1.6.1.7 : La modélisation**

Même si elle joue déjà un rôle au nouveau de l'autocompensation des grandeurs mesurées, la modélisation constitue une ouverture vers un nouveau type de capteur : les capteurs virtuels. En effet, elle permet à partir de lois mathématiques et des grandeurs mesurées de déterminer la valeur d'une grandeur non directement accessible à la mesure. Par exemple, dans le cas du monitoring de la fonction respiratoire chez le nouveau né, des paramètres tels que les résistances inspiratoire et expiratoire, et la compliance peuvent être évalués à partir de mesures de débit et de pression dans les voies respiratoires [LOGI 93 a].

Les capteurs virtuels constituent une opportunité intéressante pour deux raisons.

- ❑ D'une part, ils permettent de pallier le manque de transducteur, soit parce qu'il n'existe pas d'effet physique rendant possible leur mise en oeuvre, soit parce que cet effet est difficilement exploitable (capteurs de goût et d'odorat).
- ❑ D'autre part, ils rendent possible la production de grandeurs élaborées telles que des historiques de panne, des comptages d'événements, des bilans énergétiques, etc. permettant entre autres d'aider à la détermination des taux de défaillance et de réparation.

### **1.6.2 : Amélioration de la fonction Interfacier**

La grandeur, une fois élaborée dans les meilleures conditions par la partie Mesurer de la chaîne de mesure, doit être communiquée à ses utilisateurs. Compte tenu du développement de l'automatisation, l'utilisateur tend à être de plus en plus souvent un système de contrôle-commande faisant appel aux techniques numériques. Par conséquent, il est judicieux d'accroître les performances de la fonction Interfacier en sortie en optant pour un format numérique de transmission des données, d'autant plus qu'une transmission sous forme numérique de l'information présente, par rapport à une transmission analogique, les avantages suivants :

- la transmission simultanée de plusieurs signaux sur un même médium est aisée,
- les signaux véhiculés sont insensibles aux perturbations électromagnétiques,
- le stockage d'informations est facilement réalisable,

- l'influence du vieillissement des composants est moindre,
- etc.

même si a priori l'inconvénient majeur résulte d'une perte d'information due à l'échantillonnage.

De plus, la réalisation de certaines fonctionnalités liées à l'amélioration de la fonction Mesurer, telles que l'autocompensation et l'autocalibration nécessitent que certains paramètres puissent être communiqués au capteur (par exemple : la valeur de la température pour le choix approprié de la courbe d'étalonnage, la valeur de correction d'offset). Ceci sera facilité s'il existe une communication numérique bidirectionnelle entre l'utilisateur et le capteur. On remarquera alors que le modèle fonctionnel du capteur présenté paragraphe 1.2 peut être complété par une troisième fonction : la fonction Interfacier en entrée. Celle-ci prend naissance avec la nécessité de pouvoir communiquer des informations au capteur. Elle a un rôle équivalent à la fonction Interfacier en sortie mais pour un trafic d'information non plus du capteur vers l'utilisateur mais de l'utilisateur vers le capteur. Compte tenu de cette nouvelle fonctionnalité, le modèle fonctionnel d'un capteur communiquant est présenté figure I.17. On y retrouve les fonctions d'un capteur élémentaire (voir figure I.1), le protocole de communication intégrant la définition du référentiel utilisateur. Ce modèle sera détaillé dans la deuxième partie de ce mémoire afin de mettre en évidence l'ensemble des fonctionnalités de ce nouveau type de capteur.

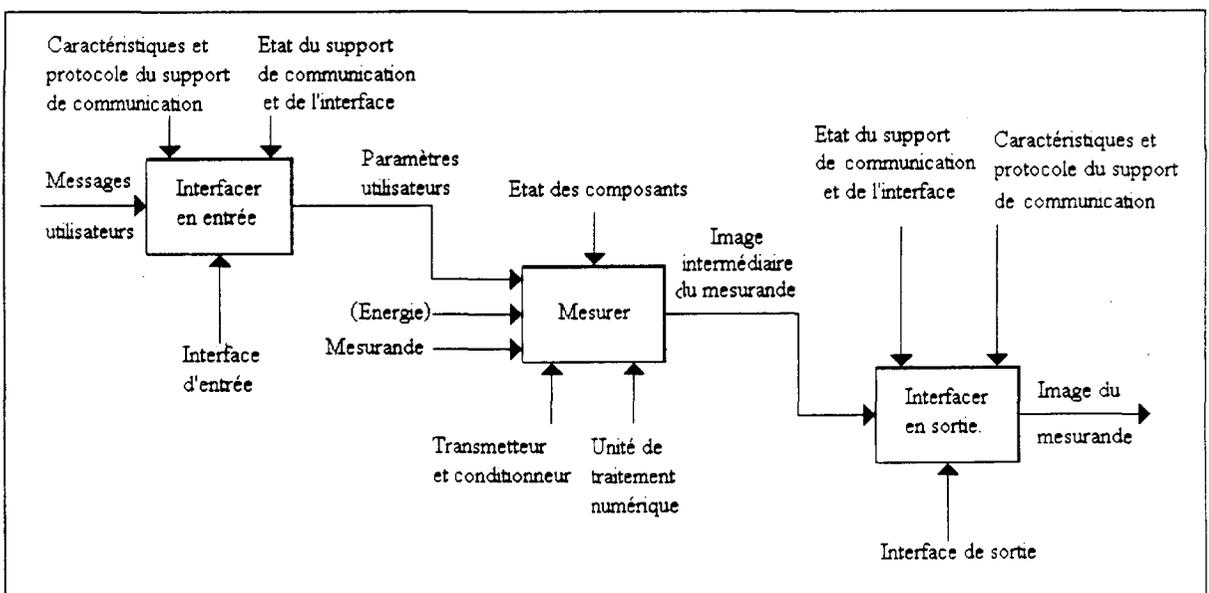


Figure I.17 : Structure fonctionnelle d'un capteur communiquant.

## **1.7 : Conclusion**

Le modèle fonctionnel met en évidence deux grandes fonctions du capteur, Mesurer et Interfacer en sortie. Le modèle de comportement, quant à lui, permet de décrire les mécanismes d'élaboration de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée qu'est le mesurande. Les éléments du modèle de comportement dépendent de l'application à laquelle on destine le capteur. En effet, la réalisation d'un capteur nécessite l'interconnexion d'un ensemble d'éléments dont les caractéristiques de fonctionnement sont limitées (sensibilité à certaines grandeurs physiques, temps de réponse, dérives et défaillances toujours possibles, etc.). Les limites imposées par les composants restreignent les performances globales du capteur. Toutefois, ces dernières peuvent être améliorées en intégrant au capteur, une unité de traitement numérique associée à un bus bidirectionnel de communication [FAVE 87], [BEAU 93]. Un tel capteur répond alors à la définition du capteur intelligent donnée par le CIAME (Comité Interprofessionnel pour l'automatisation de la MEsure) et reprise ci-dessous.

<p>On dénomme "capteurs intelligents" les capteurs intégrant en plus de leurs fonctions standards de transduction et de conditionnement une unité de traitement numérique, qu'elle soit sous la forme d'un microprocesseur ou autre, et une interface rendant possible la communication avec un bus bidirectionnel numérique [CIAM 87].</p>
---

Les principales différences par rapport au capteur analogique sont présentées figure I.18.

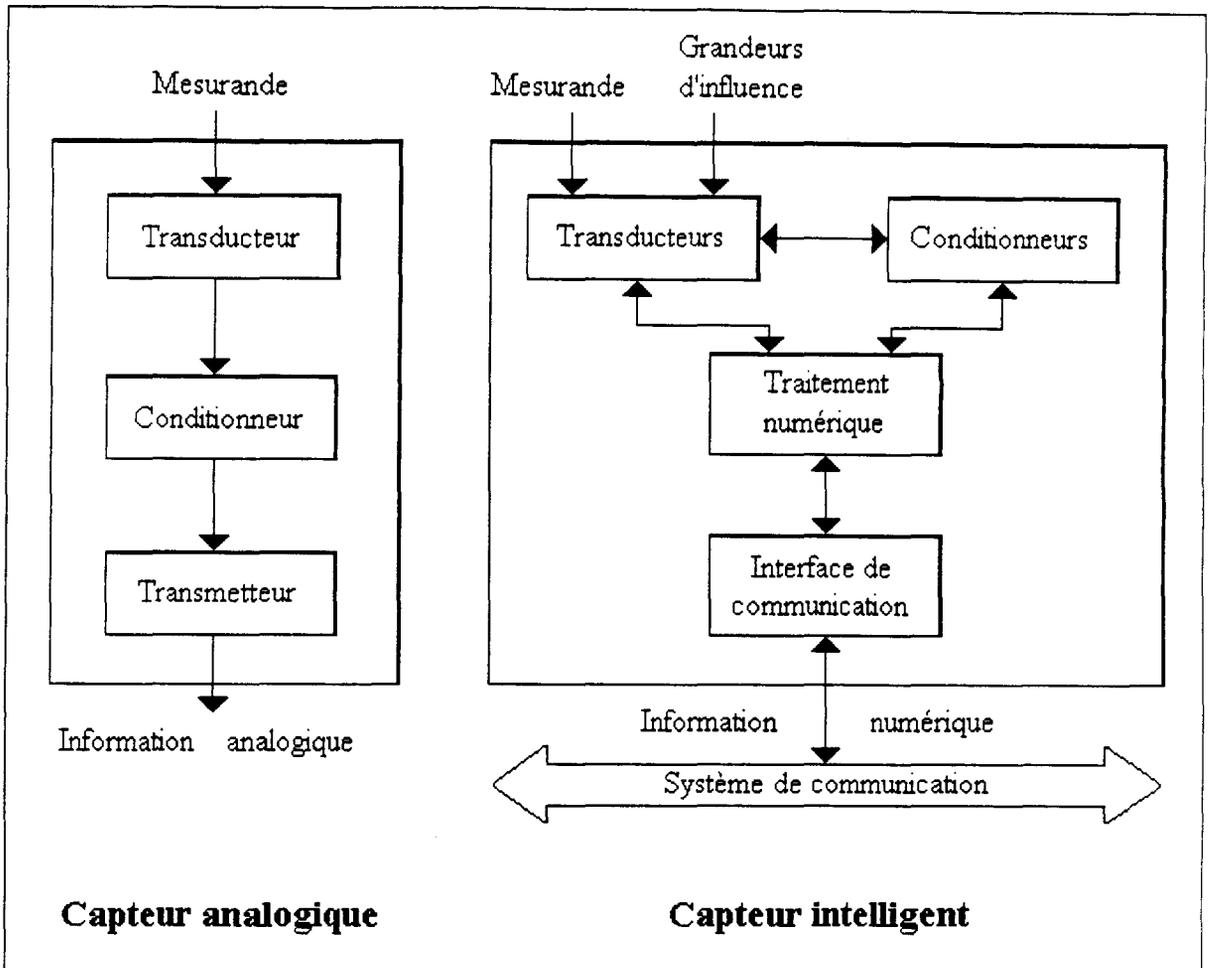


Figure 1.18 : Comparaison entre un capteur analogique et un capteur intelligent.

Dans ce chapitre, nous avons présenté le capteur en ne le considérant que comme une entité isolée où son seul rôle est de produire une information la plus représentative possible de la valeur du mesurande. Nous avons détaillé les modèles fonctionnel et comportemental, qui sont fonction de l'architecture matérielle. L'analyse des performances et des limites selon des critères métrologiques, d'utilisation et de sûreté de fonctionnement, permet de mettre en évidence des améliorations à apporter au capteur au niveau des fonctions de mesure et de communication. Cependant, ce point de vue est limité, car le capteur est souvent destiné à être inséré dans un système d'automatisation et c'est sous cet aspect que son étude doit être complétée pour voir quelles sont les nouvelles fonctions qu'il est en mesure d'accueillir. Celles-ci lui conféreront alors pleinement son statut de capteur intelligent.

# Chapitre 2

## Le capteur constituant d'un système d'automatisation

### **2.1 : Introduction**

Pour des raisons évidentes de qualité, de productivité, de sécurité, les systèmes de production sont de plus en plus automatisés. Cette automatisation a pris naissance avec l'émergence d'objets nouveaux nés de la révolution micro-électronique et intégrant des mécanismes de mémorisation et de traitement de l'information. Dans la boucle Mesure-Décision-Action, la partie décision a été la première à bénéficier des possibilités de traitement de l'information. Elle a fait évoluer les Systèmes de Production vers des Systèmes Automatisés de Production. Mais l'automatisation de plus en plus poussée des systèmes de production conduit à l'augmentation du nombre de capteurs et d'actionneurs. En effet, les capteurs contribuent à l'élaboration d'une image de l'état du processus aussi complète que possible alors que l'augmentation du nombre d'actionneurs permet d'en avoir un contrôle toujours plus fin. Cette augmentation du nombre de composants de terrain implique forcément une augmentation du nombre de variables à acquérir, à traiter et contrôler.

Cette multiplication des variables pose deux problèmes [STAR 92 a].

- ❑ Le premier problème est lié à l'augmentation du nombre de données. Il en découle une difficulté de connexion physique pour relier chaque composant de terrain à l'unité de traitement. Ce problème peut être résolu par l'utilisation d'un réseau de terrain à condition de doter les instruments de composants de communication appropriés. L'appareil classique reçoit alors une première forme d'intelligence liée à la fonction de communication numérique qui lui est ajoutée.

- Le deuxième problème découle du nombre de traitements à implanter au niveau de l'organe de décision. En effet, le nombre de traitements augmente bien sûr avec le nombre de variables produites, mais également avec les nouveaux besoins liés à l'exploitation des installations complexes qui ne permettent plus de dissocier les fonctions de commande et de régulation de l'automatisation "classique", des fonctions de surveillance, de supervision, d'aide à la gestion, à la maintenance .... Face à cette multiplication des traitements, les solutions de type unité centrale de traitement s'avèrent de plus en plus difficiles à mettre en oeuvre. Il devient préférable de minimiser le nombre de données échangées ainsi que le volume de traitements réalisés au niveau supérieur en effectuant le maximum de traitements à l'endroit où les données sont produites, c'est-à-dire au niveau des instruments de terrain. Ceux-ci acquièrent ainsi un deuxième niveau d'intelligence qui permet à l'appareil classique muni d'une fonction de communication numérique de réaliser des traitements locaux.

Ainsi l'instrument intelligent possède la faculté de décision qui lui permet de sélectionner les données à transmettre au niveau supérieur. Il devient un élément à part entière du Système Automatisé de Production (S.A.P.) et fait de lui un Système Automatisé de Production à Intelligence Distribuée (S.A.P.I.D.).

Afin de répertorier les fonctions que le capteur intelligent est en mesure d'accueillir, nous débuterons le chapitre par l'analyse des activités du système d'automatisation puis nous verrons pour chaque activité quels sont les services rendus.

## **2.2 : Le système automatisé de production**

Un système automatisé de production est constitué de l'ensemble des moyens destinés à l'élaboration de "produits" conformément à des objectifs économiques et techniques. Ces moyens sont :

- le processus physique,
- le système d'automatisation,
- un ensemble d'opérateurs.

Leurs interactions sont illustrées par la figure II.1.

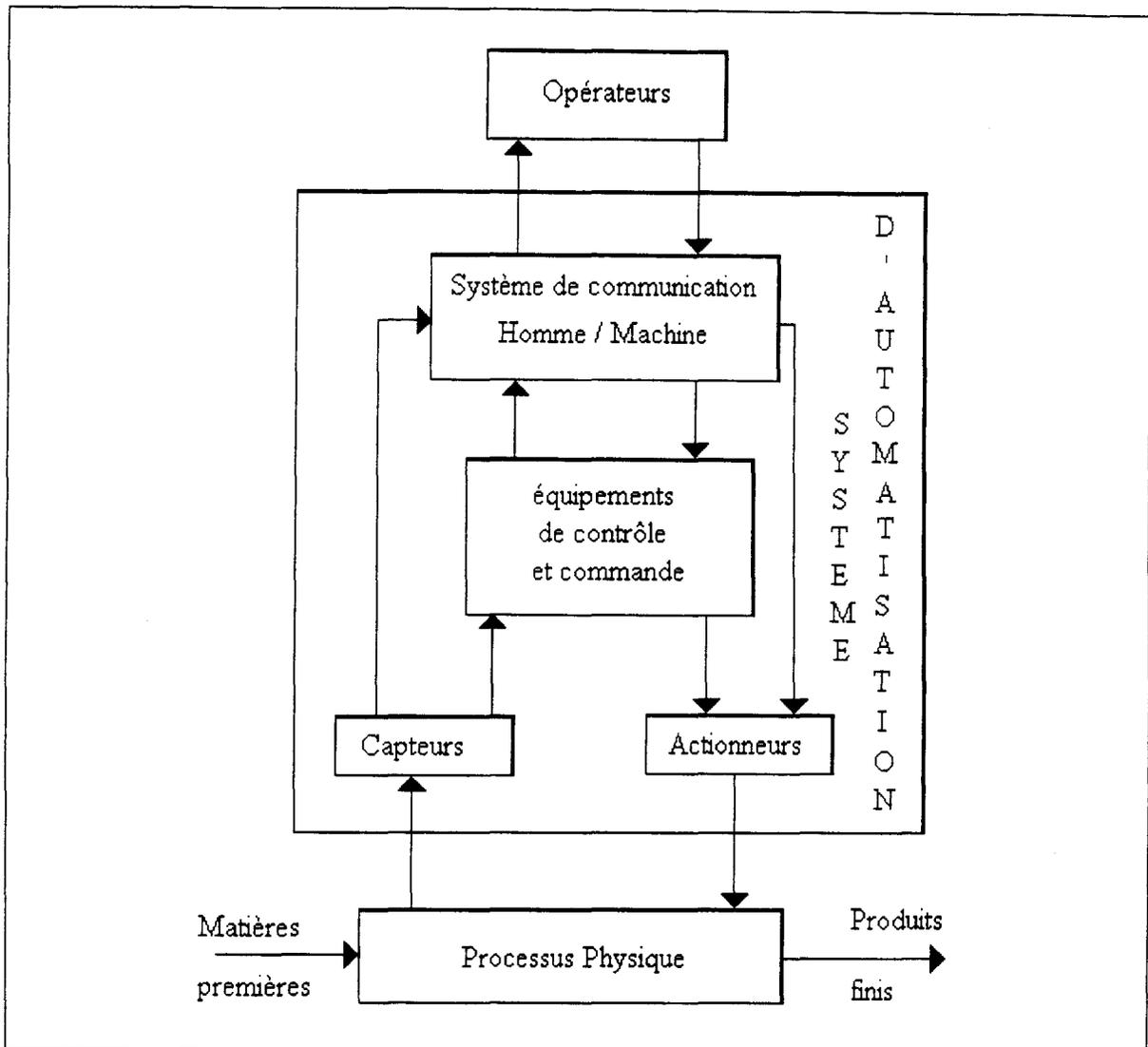


Figure II.1: Le système automatisé de production.

### **2.2.1 : Le processus physique**

C'est à travers le processus physique que le produit est transformé en produit fini à partir de composants bruts (matières premières et énergie). A cette fin, le processus physique regroupe les équipements nécessaires à la mise en oeuvre du procédé de fabrication. Ce sont d'une part les équipements de transformation (mélangeurs, réacteurs, séparateurs, machines outils, centres d'usinage ...) et d'autre part les équipements de transfert et de stockage de matière ou d'énergie (tapis, tuyaux, cuves ...).

#### **Remarque :**

Pour éviter les ambiguïtés, nous adoptons, pour l'ensemble du document, les définitions suivantes :

**Procédé** : méthode à suivre pour obtenir un résultat.

**Processus** : ensemble des opérations d'élaboration d'un produit selon un procédé déterminé aux moyens d'appareils de transformation, de transport et de stockage.

**Processus physique** : ensemble des équipements nécessaires à la mise en oeuvre du procédé.

### **2.2.2 : Le système d'automatisation**

Le système d'automatisation, quant à lui, contrôle le processus et les équipements support du procédé de fabrication. Dans ce but, il fait intervenir :

- les capteurs traduisant l'état du produit et des équipements,
- les actionneurs agissant sur le processus physique,
- les régulateurs, automates, calculateurs, etc., élaborant les commandes à destination des actionneurs, à partir des informations générées par les capteurs,
- les moyens de communication (lignes, réseaux ...) non seulement entre les différents composants du système d'automatisation mais également avec les opérateurs.

### **2.2.3 : Les opérateurs exploitants**

Un ensemble d'opérateurs participent avec une importance plus ou moins grande en fonction du degré d'automatisation, au pilotage, à la gestion, à l'entretien, à l'évolution ... du système. C'est à eux qu'est confiée, a minima, la décision de dernier recours et ils doivent pouvoir, de façon contrôlée, intervenir à tout moment sur le système (arrêt d'urgence, modification de consigne, commande manuelle ...). A cette fin, il est nécessaire que le système d'automatisation leur transmette un ensemble d'informations et en particulier les images réelles et à jour de l'état du produit et des équipements.

Le système d'automatisation a donc pour rôle de rendre des services aux deux entités avec lesquelles il est en relation.

- Au processus physique, il rend des services de pilotage.
- Aux opérateurs, il fournit des aides d'exploitation en recréant les images de l'état du produit et des équipements, en élaborant des informations pour les opérations de conduite, de maintenance, de gestion ....

L'analyse des activités du système automatisé permet de dresser la liste des services que ce dernier est en mesure d'offrir. Cette démarche est issue des travaux menés au laboratoire d'Automatique et d'Informatique industrielle de Lille (URA CNRS 1440). Elle a été validée par le groupe de travail Système du CIAME et appliquée à l'ensemble du cycle de vie du système automatisé de production [CIAM 91]. Nous ne détaillons dans la suite que les phases de vie qui sont liées à l'exploitation du système automatisé de production puisque c'est dans cette période que celui-ci est véritablement opérationnel au sens où il répond aux objectifs qui ont suscité sa conception.

## **2.3 : Les services du système d'automatisation**

La finalité d'une industrie est de maximiser les ventes tout en minimisant les coûts (réduction de la matière consommée, augmentation de la sûreté de fonctionnement, accroissement de la disponibilité de l'outil de production, amélioration de la qualité du produit fabriqué) [DESP 91]. Pour atteindre cet objectif, le système automatisé de production (lorsqu'il est opérationnel, c'est-à-dire entre ses phases de mise en service et de démantèlement) participe à la réalisation de trois grands groupes d'activités :

- les activités de conduite,
- les activités de maintenance,
- les activités de gestion.

Pour chacune de ces activités, le système d'automatisation rend des services spécifiques aux deux entités avec lesquelles il est en relation. En examinant, dans un premier temps, les services rendus pour ces trois activités principales et les fonctions à remplir par le système d'automatisation, nous pourrions alors, dans un deuxième temps voir parmi ces fonctions quelles sont celles qui peuvent être réalisées localement au niveau des instruments de terrain pour contribuer ainsi à la réalisation d'un Système Automatisé de Production à Intelligence Distribuée.

### **2.3.1 : L'activité : Conduire**

L'activité Conduire regroupe l'ensemble des tâches à effectuer pour fabriquer, à partir des matières premières et de l'énergie, les biens de consommation en qualité et quantité voulues, dans de bonnes conditions de sûreté. Elle nécessite en support des équipements de contrôle et de commande (régulateurs, automates ...) et des opérateurs humains. Les objectifs de

production définis globalement par l'activité Gérer sont adaptés par l'opérateur de conduite ou les automatismes qui s'assurent, en fonction de l'image qu'ils ont du processus à un instant donné, qu'ils peuvent atteindre ces objectifs dans de bonnes conditions de sécurité à la fois pour les matériels, les hommes et l'environnement.

Par conséquent, la fonction Conduire doit être en mesure :

- d'identifier à tout instant le mode de marche du système. Le mode de marche résulte de la combinaison d'un mode d'utilisation souhaité par l'opérateur ou l'automatisme (configuration, automatique, manuel ...) et d'un état jugé normal, dégradé ou en panne selon les disponibilités des équipements (voir chapitre 5, paragraphe 5.4),
- d'évaluer la possibilité d'atteindre, dans le mode de marche courant, les objectifs de production fixés sous les contraintes de sécurité imposées (pour les hommes, les équipements, l'environnement),
- d'évaluer, le cas échéant, la nécessité ou l'opportunité de changer de mode d'utilisation afin d'atteindre les objectifs souhaités sous les contraintes imposées (par exemple en utilisant un circuit ou une alimentation de secours),
- de définir la commande et la coordination des différents équipements, ceci aussi bien pour le mode courant que lors du changement de mode,
- de demander la modification des objectifs (par exemple diminution de la production) et/ou des niveaux de contrainte (par exemple : validation incomplète d'une donnée car redondance physique non satisfaite) dans le cas où aucun mode d'utilisation automatisé ne permettrait de les respecter, compte tenu de l'état du système.

De cette analyse, il résulte que la liste des tâches qui permettent d'assurer la conduite de l'installation pour produire en quantité et qualité est longue. Toutefois, le travail de l'opérateur se trouve facilité par les aides à la conduite implantables au niveau du système d'automatisation. Ces aides s'orientent selon trois axes principaux : la surveillance, le pilotage et l'élaboration d'informations.

### ☞ **La surveillance :**

Les algorithmes de surveillance ont initialement pour fonction de détecter les défauts, de les localiser dans la mesure du possible et éventuellement d'en rechercher les causes. Ils doivent être construits de façon à détecter aussi bien les défauts au niveau des instruments de terrain (capteur ou actionneur), des équipements de contrôle commande (régulateur, automate ...) que du processus physique lui même (fuite dans une canalisation, par exemple). Ils reposent sur

différentes techniques de validation, vérification de bilans, méthode de l'espace de parité, technique de reconnaissance des formes, etc. [DUBU 90], [PATT 89]. Ils permettent une validation des informations mises à la disposition des opérateurs et des automatismes. Ceux-ci bénéficient alors de l'image de l'état réel du système automatisé et de la disponibilité opérationnelle des objets le constituant. Il s'ensuit que les décisions et les actions sont mieux adaptées.

D'autre part, la surveillance permettra également de détecter les éventuelles erreurs commises par l'opérateur, telles que l'introduction d'une donnée aberrante, l'envoi d'un ordre incohérent avec l'état actuel, etc..

### ☞ **Le pilotage :**

La réalisation des objectifs de production qui se caractérisent par une transformation des matières premières et de l'énergie en un produit fini, passe par le pilotage des actionneurs. Cette tâche de pilotage qui peut parfois apparaître répétitive et fastidieuse est souvent automatisable. C'est le cas par exemple, avec la mise en place d'algorithmes de régulation (élaboration d'une action en fonction de la différence entre une valeur de consigne et une valeur mesurée) et d'algorithmes de séquençement (cas des automates où une action fait suite à une autre lorsque les conditions de passage de l'une à l'autre sont satisfaites) [BHAL 90], [MARI 87]. Un niveau d'aide plus élevé peut être atteint par l'implémentation de modules d'aide à la décision (par exemple : de type système expert) capable de proposer, d'argumenter, d'évaluer des actions possibles de l'opérateur [ARAG 89], [FARR 85].

### ☞ **L'élaboration d'informations :**

L'ensemble des capteurs fournit des données aux automatismes qui peuvent être transmises aux opérateurs de conduite. En fait, compte tenu du nombre important de données disponibles sur un système automatisé de production, il est intéressant d'élaborer des informations synthétiques qui seront mises à la disposition de l'opérateur et lui permettront d'avoir une vue globale de certaines parties du système (par exemple : courbes de tendances, histogrammes).

## **2.3.2 : L'activité : Maintenir** [MONC 87]

L'activité Conduire ne peut être menée à bien que si l'ensemble des équipements est en bon état. C'est le rôle de l'activité Maintenir que de reconstituer les capacités du système de production par des actions correctives lorsqu'une partie en est défaillante. Un autre objectif, de l'activité Maintenir est d'accroître la disponibilité de l'outil de production et d'améliorer la sûreté de fonctionnement par des actions préventives.

On distingue (voir norme AFNOR X 60-010 et X 60-011) plusieurs formes de maintenance :

- la maintenance corrective qui consiste à réparer et à remettre en conformité l'installation après avoir constaté la défaillance et/ou ses conséquences,
- la maintenance préventive systématique qui est effectuée selon un échéancier (fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage), établi en fonction des données constructeurs et/ou de l'expérience, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. Elle se concrétise par exemple, par le remplacement d'une pièce lorsqu'un nombre prédéterminé d'heures d'exploitation est atteint ou lorsqu'un nombre donné d'événements sont survenus. Elle nécessite donc de connaître l'activité du système (par exemple : un joint est garanti jusqu'à mille manoeuvres, une vanne nécessite d'être graissée tous les trois mois).
- la maintenance préventive conditionnelle ou maintenance prédictive qui est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé. Elle repose sur l'analyse du comportement du système afin d'en prévoir les dégradations progressives.

Une opération de maintenance, qu'elle soit préventive ou corrective nécessite des ressources (outils, temps, opérateur). De plus, elle doit être exécutée selon un mode opératoire précis. Si les ressources et les modes opératoires sont parfaitement définis pour les opérations de maintenance préventive systématique, ils ne le sont pour les autres opérations de maintenance que si un diagnostic précis du défaut est réalisé. De cette analyse découle que trois fonctions peuvent être implantées : la surveillance, l'ordonnancement, l'élaboration d'informations.

#### ☞ **La surveillance :**

Les algorithmes de surveillance ont pour mission, comme nous l'avons déjà mentionné de détecter, localiser et diagnostiquer les défauts. Ils contribuent à l'élaboration de la liste des opérations de maintenance à réaliser. Cette liste est utilisée par l'ordonnanceur. Elle inclut la date, la nature du défaut avec une localisation et un diagnostic plus ou moins précis selon les possibilités. Dans le cas de la maintenance systématique, cette activité peut se résumer à la surveillance de compteurs.

#### ☞ **L'ordonnancement :**

L'ordonnancement assure la planification temporelle des opérations de maintenance de façon à optimiser l'utilisation des ressources et à rendre le système opérationnel le plus tôt possible. Par conséquent, il constitue une aide précieuse pour l'opérateur de maintenance en l'assistant dans sa prise de décision concernant la planification, la préparation et le déroulement de l'exécution des travaux de remise en conformité de l'installation.

### ☞ **L'élaboration d'informations :**

Ces deux fonctions, surveillance et ordonnancement sont accompagnées d'une élaboration d'informations. En effet, la mise en place de compteurs d'événements ou la totalisation du nombre d'heures de fonctionnement sont des capteurs virtuels que l'on pourra implanter. De la même façon, les comptes-rendus de maintenance (en particulier, la durée des réparations) et les historiques des pannes permettent d'évaluer les critères de fonctionnement (moyenne des temps de bon fonctionnement, moyenne des temps techniques de réparation ... (voir paragraphe 1.4.1), ces critères pouvant bien sûr aider à la planification des opérations de maintenance.

### **2.3.3 : L'activité : Gérer :**

Les opérations de conduite et de maintenance sont effectuées en concordance avec des objectifs généraux de production fixés à des niveaux supérieurs et traduisant la politique économique globale de l'entreprise. L'activité Gérer traduit cette politique générale en objectifs et contraintes relatifs à la gestion des produits et du processus. Elle comprend deux sous-activités : la gestion de production et la gestion technique.

#### **2.3.3.1 : Gérer la production**

L'activité Gérer la production fixe les objectifs de production :

- Combien produire ? La quantité à produire doit être adaptée à la demande. Il faut optimiser le stock de produits finis qui doit être suffisant pour satisfaire les ventes mais pas trop important pour éviter des coûts inutiles (charges locatives supplémentaires, frais de perte plus important si les produits ne sont pas écoulés assez rapidement ...).
- Comment produire ? Quelles matières premières choisir pour obtenir un niveau de qualité donné en veillant toutefois à ce que le prix de vente du produit mis sur le marché reste compétitif et la marge bénéficiaire suffisante ? Quel est le meilleur procédé à mettre en oeuvre pour obtenir le meilleur résultat ? Comment répartir temporellement et spatialement la production ? ...

Le système d'automatisation participe à la gestion de production en apportant des aides de surveillance, d'ordonnancement, et d'élaboration d'informations.

☞ **La surveillance :**

Les algorithmes de surveillance ont essentiellement pour fonction d'élaborer l'image de l'état réel du système automatisé et de la disponibilité opérationnelle des objets qui le constituent. Ils permettent ainsi d'organiser au mieux la production en connaissant les véritables capacités de l'installation.

☞ **L'ordonnancement :**

L'ordonnancement planifie la production en fonction de la disponibilité opérationnelle des équipements, des besoins (quantité à produire) et des délais [LAMY 87].

☞ **L'élaboration d'informations :**

L'élaboration d'informations est destinée essentiellement à l'opérateur. Elle fait appel à des informations autres que celles produites par les capteurs. Connaissant certaines données initiales et sachant à tout instant quelles sont les quantités de produit générées et consommées, il est par exemple possible d'informer l'utilisateur, sur l'état des stocks, sur les commandes d'approvisionnement à renouveler, sur le prix de revient estimé ....

### **2.3.3.2 : Gérer techniquement**

L'activité Gérer techniquement vise à optimiser l'utilisation des matériels support de la production afin de produire à moindre coût pour des niveaux de qualité du produit et de sûreté égaux. En particulier, elle vise à réduire les durées d'indisponibilité des équipements en organisant les opérations de maintenance et en gérant les stocks des pièces et outils qui y sont nécessaires. Les aides relatives à la gestion technique apportées par le système d'automatisation s'expriment en termes de surveillance et d'élaboration d'informations.

☞ **La surveillance :**

La détection, la localisation, le diagnostic des défauts permettent jour après jour de mieux connaître le matériel, en particulier de prendre connaissance de ses faiblesses, de ses dérives. La surveillance peut ainsi susciter des corrections sur l'utilisation du matériel, émettre des suggestions quant à son amélioration de façon à rendre globalement minimal le ratio :

$$\frac{\text{dépenses de maintenance} + \text{coûts des arrêts fortuits}}{\text{services rendus}}$$

### ☞ **L'élaboration d'informations :**

La gestion technique utilise également des informations non directement produites par les capteurs. On peut citer entre autres : les dates de dernière intervention de maintenance, la consommation électrique, l'état des stocks de pièces de rechange, etc..

L'analyse des activités du S.A.P. a permis de mettre en évidence un certain nombre d'aides qui s'expriment en termes :

- de pilotage : élaboration et séquençage des actions,
- de surveillance : détection, isolation et diagnostic de défauts au niveau :
  - . des instruments de terrain (capteurs, actionneurs),
  - . des équipements de contrôle commande (automates, régulateurs ...),
  - . du processus physique (équipements de transport, de stockage et de transformation),
  - . de la transformation du produit,
  - . des informations transmises par les opérateurs,
- d'élaboration d'informations :
  - . images synthétiques du comportement du système,
  - . historiques des pannes, des opérations de maintenance et de conduite ...,
  - . aide à la gestion des stocks d'outils, de matières premières, de pièces de rechange ...,
  - . estimation des prix de revient, des quantités productibles ...,
  - . etc.,
- d'ordonnancement : planification de la production et des opérations de maintenance.

Ces différentes aides peuvent être implantées via des traitements adéquats au niveau du système d'automatisation.

## **2.4 : Les traitements du système d'automatisation**

Pour réaliser les différentes aides présentées, le système d'automatisation effectue un ensemble de traitements élémentaires et manipule un ensemble de variables. Les traitements sont organisés en services, et reposent sur une base de données. L'organisation globale constitue le système d'exploitation temps réel du processus.

### **2.4.1 : Notion de service**

Nous avons vu que l'objectif du système d'automatisation peut être exprimé en termes de services rendus aux opérateurs d'une part, au processus physique d'autre part. Dans ce sens, un service regroupe un ensemble de traitements. Il est caractérisé par des données produites, des données consommées, des traitements, des ressources et des conditions d'activation.

Les données consommées (appelées également entrées) peuvent être :

- des mesures issues des capteurs, que ceux-ci soient :
  - . des capteurs connectés sur le processus dans le but d'avoir un suivi des équipements, support de la transformation ou de l'évolution du produit,
  - . des capteurs proprioceptifs d'actionneurs,
- des informations fournies par les opérateurs ou éventuellement en provenance d'un second système d'automatisation en communication avec le premier,
- des grandeurs produites par un autre traitement.

Les données produites (appelées également sorties) peuvent être :

- des commandes à destination des actionneurs,
- des informations pour l'utilisateur ou éventuellement pour un autre système d'automatisation,
- des grandeurs consommées par un autre traitement.

Les ressources sont les éléments nécessaires à la production des sorties en fonction des entrées. Elles sont matérielles (capteurs, actionneurs, unités de traitement ...). Les ressources informationnelles sont les données consommées.

Les conditions d'activation définissent les règles qui autorisent la transformation des données d'entrée en données de sortie.

### **2.4.2 : Structure de la base de données**

Dans le cas d'un S.A.P., la base de données commune aux différents services peut se diviser en trois ensembles [CIAM 91] :

- une partie statique qui comprend l'ensemble des données permettant d'identifier chaque élément du S.A.P. et précisant ses possibilités de configuration et de paramétrage. Ces données caractérisent le S.A.P.. Elles sont initialisées lors des étapes de configuration

chez le constructeur, de mise en place et de mise en service sur le site. Elles ne sont modifiées que si le S.A.P. l'est lui-même (ajout ou suppression d'un élément).

- une partie semi-statique qui inclut les données décrivant la configuration et le paramétrage en vigueur à l'instant courant. Elle est le reflet des conditions d'exploitation choisies et est modifiée chaque fois que ces dernières le sont.
- une partie dynamique qui contient l'ensemble des données nécessaires à l'exploitation en temps réel du processus. Ces données proviennent des capteurs, des résultats des algorithmes de traitements ou des opérateurs. Elles sont susceptibles d'être modifiées à chaque instant.

La distinction est faite, au niveau de la partie dynamique de la base de données du S.A.P., entre les informations en provenance de l'opérateur et des capteurs qui représentent des entrées pour certains traitements, et les informations élaborées par les traitements qui constituent des sorties vers les opérateurs et le processus. Ainsi, nous appelons Base de Données Brute (BdDB) l'ensemble des informations directement issues des deux interfaces d'entrée. La BdDB constitue le support d'une partie des traitements. Les premiers traitements à effectuer sur cette BdDB sont des traitements de validation destinés à retirer toutes les données erronées et à crédibiliser les autres en vérifiant leur cohérence. Ces traitements de validation constituent ce que nous dénommons la couche surveillance. Ils produisent à partir des données brutes des données validées. L'ensemble des données validées constitue la Base de Données Validée (BdDV). Cette BdDV est utilisée par tous les autres services du système d'automatisation qui génèrent des informations à destination de l'opérateur et du processus. L'ensemble des services du S.A.P. et les bases de données brute et validée associées constituent alors un véritable système d'exploitation temps réel du processus : Le R.T.P.O.S. (Real Time Process Operating System) dont la figure II.2 représente les différentes couches.

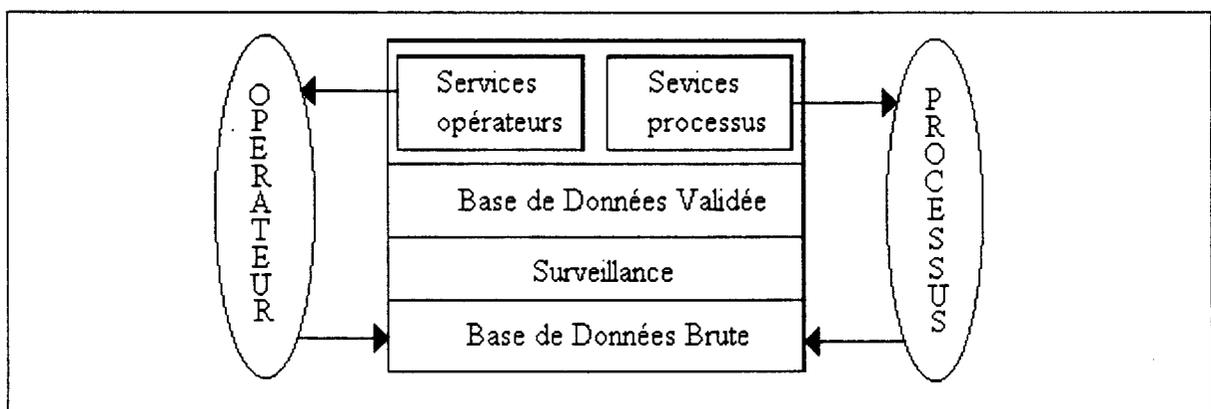


Figure II.2 : Représentation des couches du R.T.P.O.S..

### **2.4.3 : Structure du R.T.P.O.S.**

D'un point de vue fonctionnel, le R.T.P.O.S. peut être décomposé en quatre sous-ensembles [CIAM 91] :

- le système d'information,
- le système de décision,
- le système d'application,
- le système de communication.

#### **2.4.3.1 : Le système d'information**

Le système d'information crée la Base de Données Validée. Il prend en charge l'acquisition des données brutes, leur validation, la génération d'informations élaborées à partir des données validées et la mémorisation de l'ensemble. A cette fin, il fait appel aux quatre fonctions suivantes :

##### **☞ Acquérir :**

La fonction Acquérir alimente la BdDB constituée des images de grandeurs mesurées sur le processus et des informations fournies par les opérateurs. Elle est donc directement en relation avec les deux interfaces d'entrée. De plus, pour des raisons de cohérence temporelle, elle repère chaque donnée dans le temps.

##### **☞ Surveiller :**

La fonction Surveiller participe à la constitution de la Base de Données Validée en validant les données brutes. L'ensemble des données issues des deux interfaces d'entrée est enrichi par la génération d'informations relatives aux défaillances constatées (détection, localisation, diagnostic).

##### **☞ Elaborer des informations :**

La fonction Elaborer des informations enrichit encore la BdDV en élaborant à partir des données validées, d'autres grandeurs qui ne sont pas directement accessibles (par exemple : génération d'historique, élaboration de grandeurs virtuelles, estimation de grandeurs dont la mesure a été détectée défaillante).

##### **☞ Gérer la base de données :**

Cette fonction gère les processus de mémorisation et de restitution des données, en fonction des besoins (durée de sauvegarde, localisation, condition d'accès, etc.).

### **2.4.3.2 : Le système de décision**

Le système de décision utilise la BdDV élaborée par le système d'information afin de gérer au mieux les différentes activités du système d'automatisation tout en respectant leur cohérence temporelle. Il propose aux opérateurs différentes aides à la décision et génère la commande des actionneurs.

### **2.4.3.3 : Le système d'application**

Le système d'application agit sur le processus en fonction des consignes élaborées (ou suggérées si elles s'adressent à l'opérateur) par le système de décision. Il fait appel, selon le cas, aux actionneurs seuls (commande automatique) ou à la chaîne opérateur-actionneurs (commande manuelle).

### **2.4.3.4 : Le système de communication**

Le système de communication gère les échanges du système d'automatisation avec ses deux interfaces. Du côté processus, il assure la réception des données issues des capteurs et la transmission des commandes vers les actionneurs. Du côté opérateur, il permet la saisie et la diffusion des diverses informations.

A cette communication externe s'ajoute, si les fonctions du système d'automatisation sont distribuées entre différents équipements, une communication interne gérant les échanges entre ceux-ci.

Ce premier niveau de décomposition de la structure fonctionnelle d'un système d'automatisation a permis d'en faire ressortir les principales fonctions. Celles-ci sont reprises sur le schéma figure II.3 représentant la structure fonctionnelle du système d'automatisation.

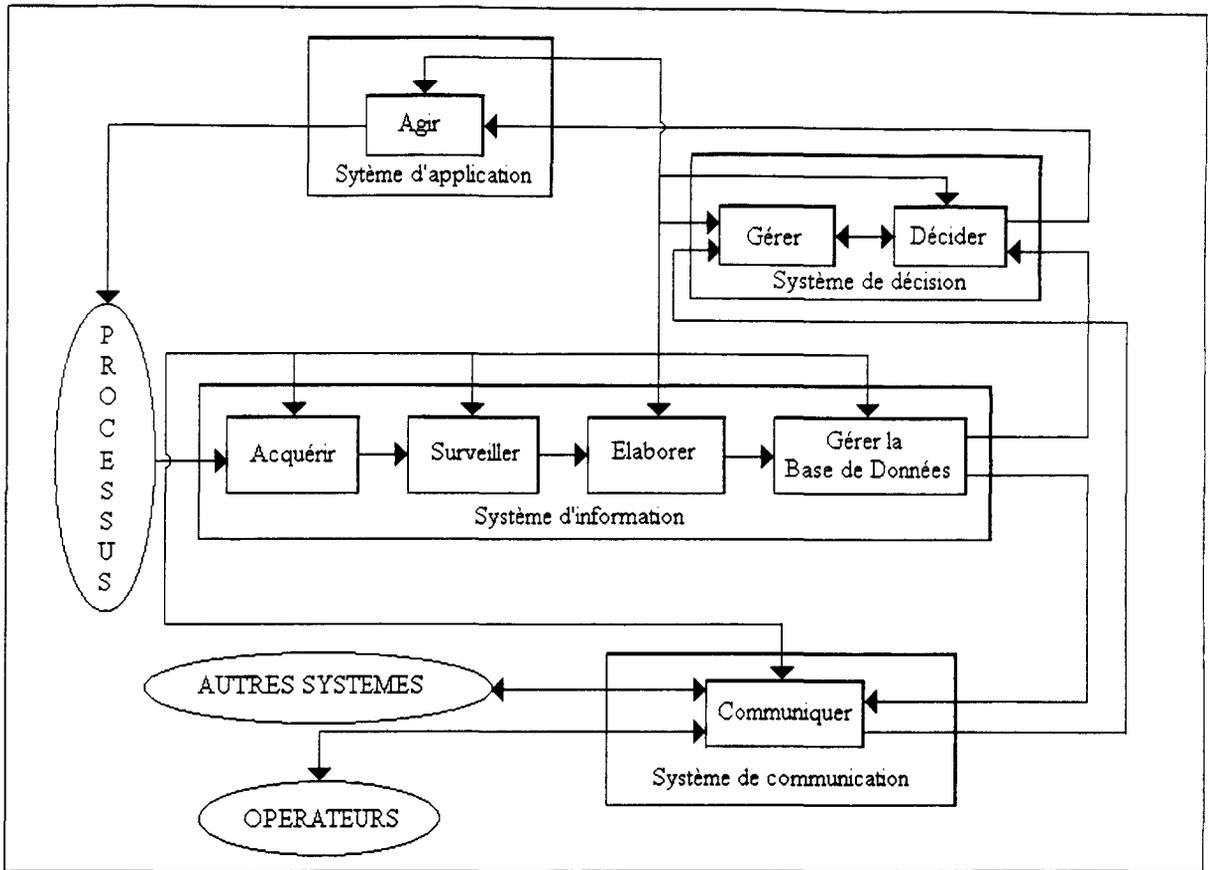


Figure 11.3: Structure fonctionnelle du système d'automatisation.

Sur le plan matériel, le système d'automatisation est constitué d'un ensemble d'équipements interconnectés. Le capteur en fait partie. Nous avons vu que la multiplication des données à traiter par le système d'automatisation liées aux exigences de production a conduit à munir le capteur d'une forme d'intelligence caractérisée d'une part, par une aptitude à communiquer et d'autre part par une capacité à prendre des décisions grâce à l'unité de traitement dont il a été muni. De ce fait, le capteur accueille certaines fonctions du système d'automatisation, en particulier la fonction de communication et plus généralement, à partir du moment où il dispose de sa propre puissance de traitement, il devient possible d'organiser sa structure fonctionnelle en la calquant sur le modèle de celle du système d'automatisation.

## **2.5 : Structure fonctionnelle du capteur intelligent**

### **2.5.1 : Les fonctions d'information**

Les fonctions du système d'information dont une partie est décentralisable au niveau du capteur sont Acquérir, Surveiller, Elaborer des informations et Gérer la base de données.

☞ **Acquérir :**

Le capteur par l'intermédiaire de la fonction Acquérir génère les images des grandeurs physiques du processus sur lequel il est connecté. Le premier chapitre a montré comment cette fonction pouvait bénéficier des possibilités de traitement pour améliorer la qualité de la grandeur produite (par exemple : meilleure précision grâce aux possibilités d'autocompensation et d'autocalibration, réhabilitation des transducteurs fortement non linéaires grâce à la mémorisation de modèles).

☞ **Surveiller :**

Certains traitements de validation du R.T.P.O.S. comme la validation technologique (validation des conditions dans lesquelles les mesures ont été effectuées) et la validation fonctionnelle (vérification de la plausibilité des mesures obtenues par comparaison à des seuils, par vérification de la cohérence entre plusieurs mesures ...) peuvent être distribués au niveau du capteur. Cela offre comme avantage de communiquer des mesures validées ou d'informer le cas échéant d'une défaillance.

☞ **Elaborer des informations :**

A partir des grandeurs générées par la fonction Acquérir et validées par la fonction Surveiller, le capteur est en mesure d'élaborer d'autres informations non directement accessibles comme la génération de grandeurs virtuelles, les historiques, des données pour la maintenance qui augmenteront la sûreté de fonctionnement, ou fourniront une information supplémentaire aux utilisateurs.

☞ **Gérer la base de données :**

La fonction Gérer la base de données mémorise au niveau local une partie des informations élaborées par le capteur de façon, par exemple, à ne les restituer que sur demande particulière. Ceci offre l'avantage de ne pas saturer les supports de communication puisque l'on ne transmet pas systématiquement toutes les informations. Cette fonction archive également les informations, en provenance des utilisateurs, qui représentent par exemple des données de configuration.

### **2.5.2 : La fonction d'application**

Il semble intéressant de mentionner ici le cas particulier de capteurs qui sont en réalité de véritables microsystemes puisqu'ils intègrent des actionneurs pour réaliser la fonction

---

Acquérir. Par exemple, lors d'une mesure de pression artérielle au moyen d'un brassard [CRES 93], une pompe est utilisée pour gonfler le brassard à une pression suffisante pour comprimer totalement l'artère, puis une valve est commandée en ouverture de façon à détecter la pression qui correspond au retour de la circulation du sang dans l'artère. Un tel capteur inclut une partie active dont le rôle est de perturber le système afin de réaliser une mesure.

Pour d'autres capteurs, les actionneurs qu'ils incluent ne servent pas à perturber le système mais à modifier la configuration des éléments réalisant l'acquisition de la grandeur, par exemple : réglage de la focalisation pour un capteur d'image [SOL 92].

Pour de tels capteurs, la fonction Acquérir n'est réalisée correctement que si elle est coordonnée avec la fonction Agir du système d'application. La coordination entre les fonctions est assurée par le système de décision.

### **2.5.3 : Les fonctions de décision**

#### **☞ Décider :**

Le capteur intelligent utilise les données du système d'information pour décider si un service est ou non disponible et pour gérer l'exécution et le choix des différents traitements. En effet, considérons l'exemple donné par C.Sol [SOL 92], d'un capteur de proximité fixé sur un robot pouvant fournir une mesure précise de distance face à une surface métallique plane. Face à une surface inclinée d'un angle connu, par un traitement différent prenant en compte la valeur de l'angle, il est possible d'élaborer la mesure de distance. Par contre, pour une cible quelconque, de nature et de forme inconnue, tout au plus l'apparition d'un signal peut-elle s'interpréter comme une information de présence de quelque chose à une distance inférieure ou égale à la portée. Pour cet exemple, la fonction Décider est à l'origine du choix de certains traitements.

#### **☞ Gérer :**

Nous l'avons vu, la réalisation d'un service nécessite l'exécution d'un ensemble de traitements. Le capteur, tel que nous l'envisageons devrait être capable de réaliser un sous-ensemble de services permettant de fournir les aides recensées au chapitre 3. Il devient donc une entité complexe dont les traitements internes doivent être gérés par un module réalisant les fonctions d'un système d'exploitation.

### **2.5.4 : La fonction de communication**

La fonction Communiquer régit les échanges entre le capteur et les autres entités du système d'automatisation d'une part, et entre le capteur et les opérateurs d'autre part.

### **2.5.5 : Structure fonctionnelle**

Grâce à sa puissance de traitement et aux possibilités de communication qui lui sont conférées, le capteur est en mesure de prendre en charge une partie des fonctionnalités du R.T.P.O.S.. Ces nouvelles fonctions constituent l'intelligence du capteur. Elles font de lui une entité capable d'informer, de décider, voire d'agir dans certains cas. Si on englobe sous le terme de capteur, le cas particulier où un ou des actionneur(s) sont nécessaires à l'acquisition d'une grandeur alors la structure fonctionnelle du capteur intelligent, présentée figure II.4 est identique à celle du système d'automatisation (voir figure II.3).

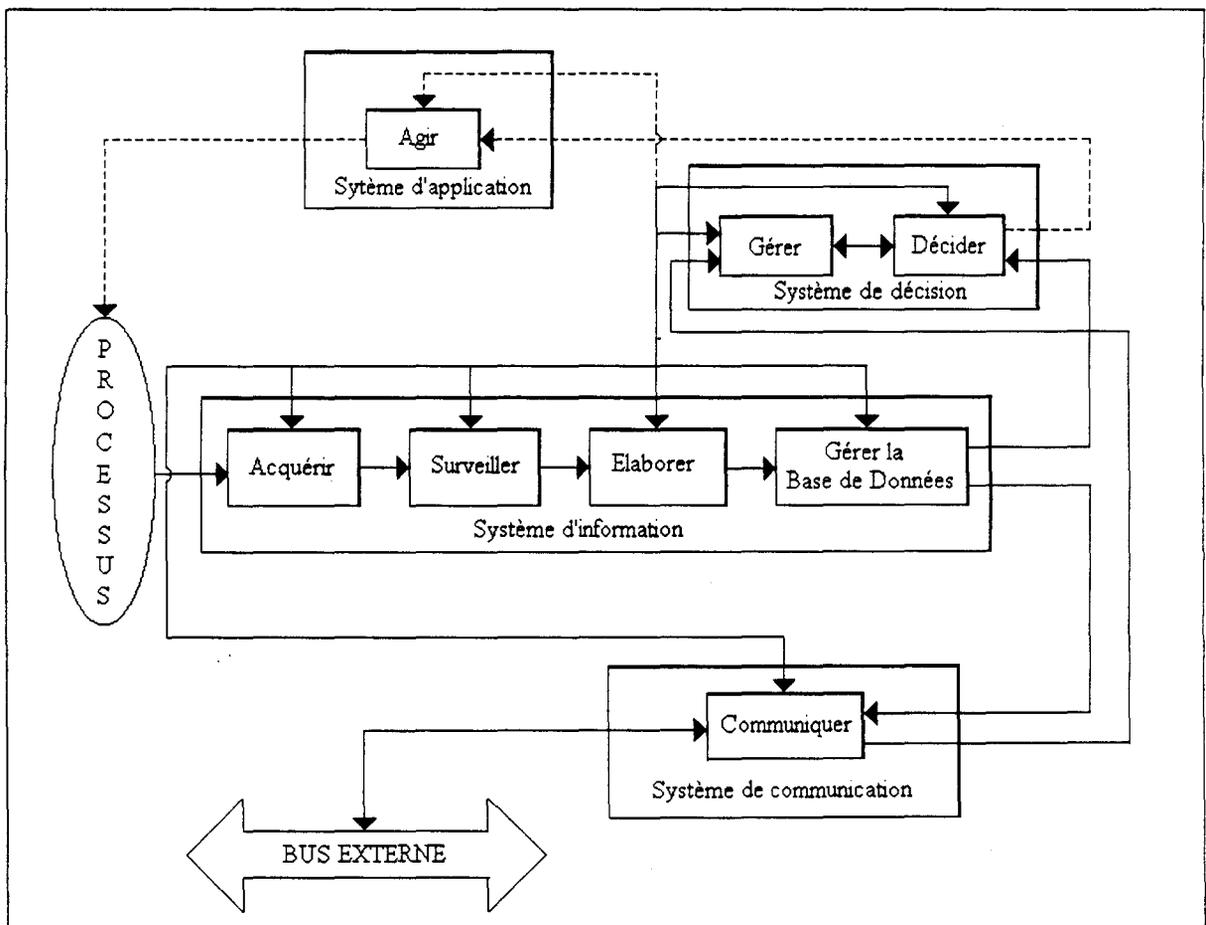


Figure II.4: Structure fonctionnelle d'un capteur intelligent.

## **2.6 Intégration dans le S.A.P.**

La décentralisation d'une partie des traitements au niveau des instruments de terrain (que ce soient les capteurs ou les actionneurs) nécessite le développement de méthodes de hiérarchisation et de distribution des traitements. Certains travaux relatifs à la répartition de la fonction surveillance ont déjà été réalisés [STAR 92 b], [CASS 92]. Par ailleurs, cette décentralisation modifie la nature et la quantité des informations échangées entre les équipements de niveau 0 et les couches supérieures du système d'automatisation. La base de données utilisée par le système de décision étant répartie entre les différents constituants du S.A.P., il en résulte que les informations échangées au sein d'un tel système sont de nature différente [LAIN 91].

- Les informations échangées entre les instruments de terrain (capteurs intelligents, actionneurs intelligents, automates de bas niveau) définissent un flux, le plus souvent périodique mettant en oeuvre beaucoup de données de faible volume mais aux contraintes temporelles strictes. En effet, les grandeurs prélevées sur le processus à l'aide des capteurs fournissent au système de contrôle/commande une image de l'état du processus qui doit sans cesse être mise à jour à une fréquence, fonction de la dynamique interne des constituants du processus. D'autre part, les automatismes assurent par le biais d'ordres transmis au plus tôt aux actionneurs, le pilotage du processus en fonction des grandeurs mesurées et de l'évolution souhaitée.

Ces types d'échanges où les informations circulent entre équipements de même niveau sont qualifiés de trafics horizontaux. Ils doivent prendre en compte des contraintes temporelles strictes en ce qui concerne les délais de transmission des informations des producteurs aux consommateurs [LETE 89]. Les communications supportées par les bus de terrain sont particulièrement bien adaptées aux trafics horizontaux [ELLO 92]. A ce jour, plusieurs protocoles sont proposés à la normalisation avec comme objectif d'introduire des possibilités d'interopérabilité et d'interchangeabilité des équipements.

- Les échanges d'information entre les instruments de terrain et les couches supérieures (système d'automatisation ou opérateurs) ont une période plus grande et sont constitués de messages de volume plus important. Les informations échangées correspondent à des données synthétiques (historiques, données de calibrage ou de configuration, données de maintenance ...). Elles constituent des flux qualifiés de

trafics verticaux. Elles concernent essentiellement la conduite et la supervision du processus. Les échanges verticaux se font donc entre équipements connectés sur un bus de terrain et des équipements connectés sur un réseau de coordination.

Une architecture possible pour la communication entre entités d'un même système d'automatisation est présentée figure II.5. Elle est inspirée du concept CMMS : Control, Maintenance and Management développé dans le cadre du projet Esprit n° 2172 baptisé DIAS : Distributed Intelligent Actuators and Sensors [VALL 91].

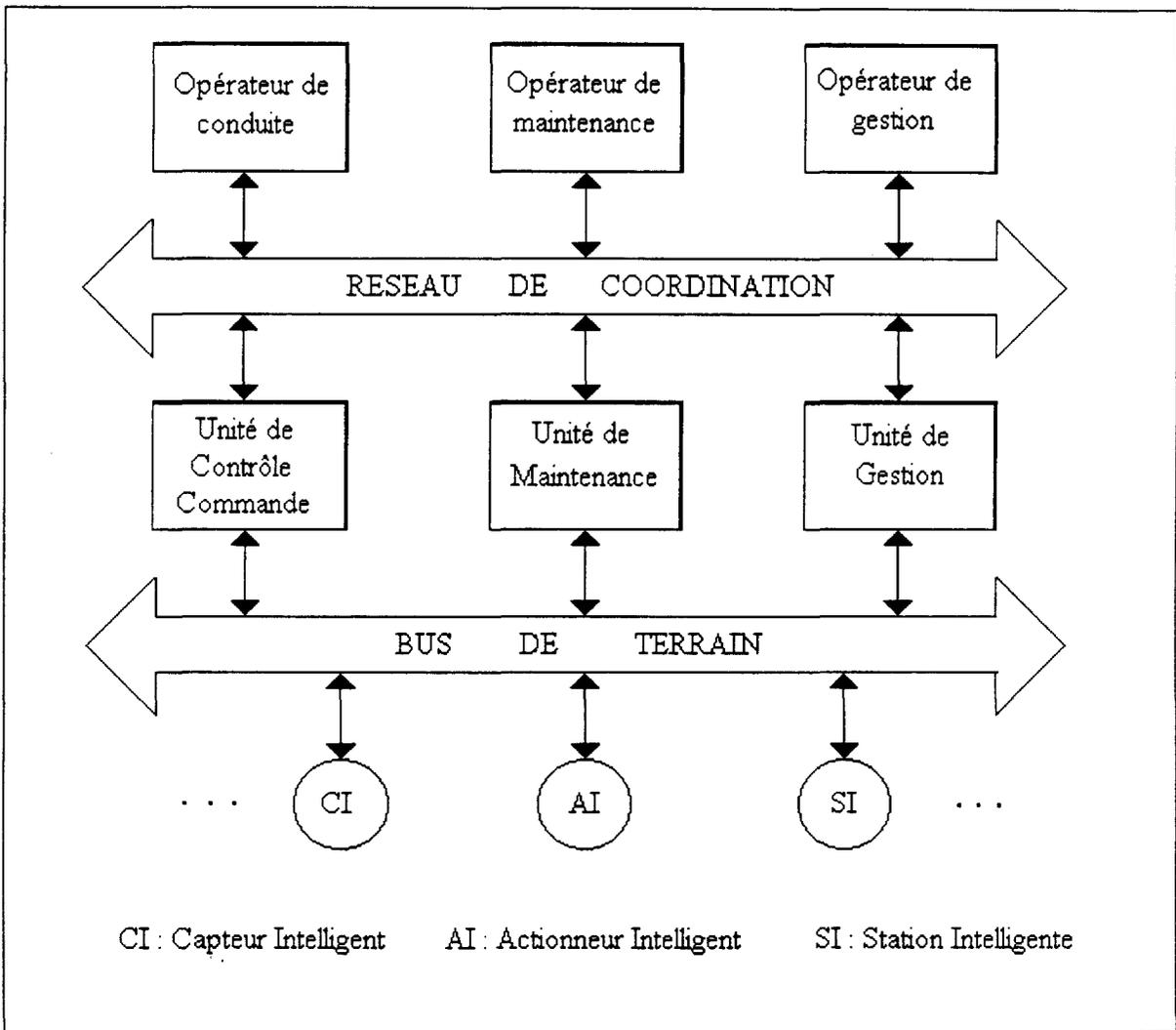


Figure II.5: Exemple d'architecture de communication interne à un système d'automatisation (d'après [VALL 91]).

## **2.7 Conclusion**

Le premier chapitre montrait comment un capteur en tant qu'entité productrice d'une information peut tirer parti des nouvelles possibilités de traitement local offertes par la micro-électronique pour répondre le mieux possible à sa mission. Dans ce deuxième chapitre nous avons replacé le capteur dans son contexte le plus courant d'utilisation, c'est-à-dire dans des conditions où la grandeur qu'il élabore est utilisée par un système automatisé de production pour prendre des décisions et agir sur le processus en conséquence.

L'analyse des activités et des services liés au système d'automatisation a montré, dans un premier temps, que celui-ci se comporte comme un véritable système d'exploitation temps réel du processus (R.T.P.O.S.) en ce qui concerne l'organisation de ces traitements. Dans un second temps, nous avons montré que le capteur grâce à l'amélioration de ses possibilités de traitement et de communication peut prendre en charge localement une partie des fonctions remplies par le R.T.P.O.S.. En particulier, il contribue à l'alimentation et à la gestion d'une base de données validée et répartie, il participe à la réalisation de la communication entre les différentes entités du système d'automatisation et enfin il est capable d'autogérer ses activités qui deviennent de plus en plus nombreuses.

Ainsi, la vocation initiale du capteur : délivrer une mesure, s'est élargie jusqu'à la participation à un certain nombre de fonctionnalités relevant du système d'automatisation.

# **Chapitre 3**

## **Le cycle de vie**

### **du capteur intelligent**

#### **3.1 : Introduction**

Jusqu'à présent, les apports du capteur intelligent ont été analysés uniquement dans le contexte où les grandeurs qu'il génère (essentiellement les images des mesurandes) sont utilisées par un processus de décision en vue de satisfaire des objectifs généraux de production (productivité, sûreté). Dans ce sens, le premier chapitre a mis en évidence comment les nouvelles possibilités de traitement numérique apportent plus de crédibilité aux informations produites. Puis, le second chapitre a montré que le capteur intelligent est en mesure d'occuper une place entière au sein du système automatisé de production puisqu'il est capable d'accueillir de nouvelles fonctions résultant de la décentralisation des traitements.

Cependant, la vie du capteur intelligent ne se limite pas à cette phase d'utilisation où son rôle est de produire les images des mesurandes et de les communiquer. En effet, en tant que produit, le capteur passe par d'autres phases de vie. L'ensemble de ces étapes (de la conception au démantèlement) constitue son cycle de vie. Celui-ci est représenté d'une façon générale sur la figure III.1.

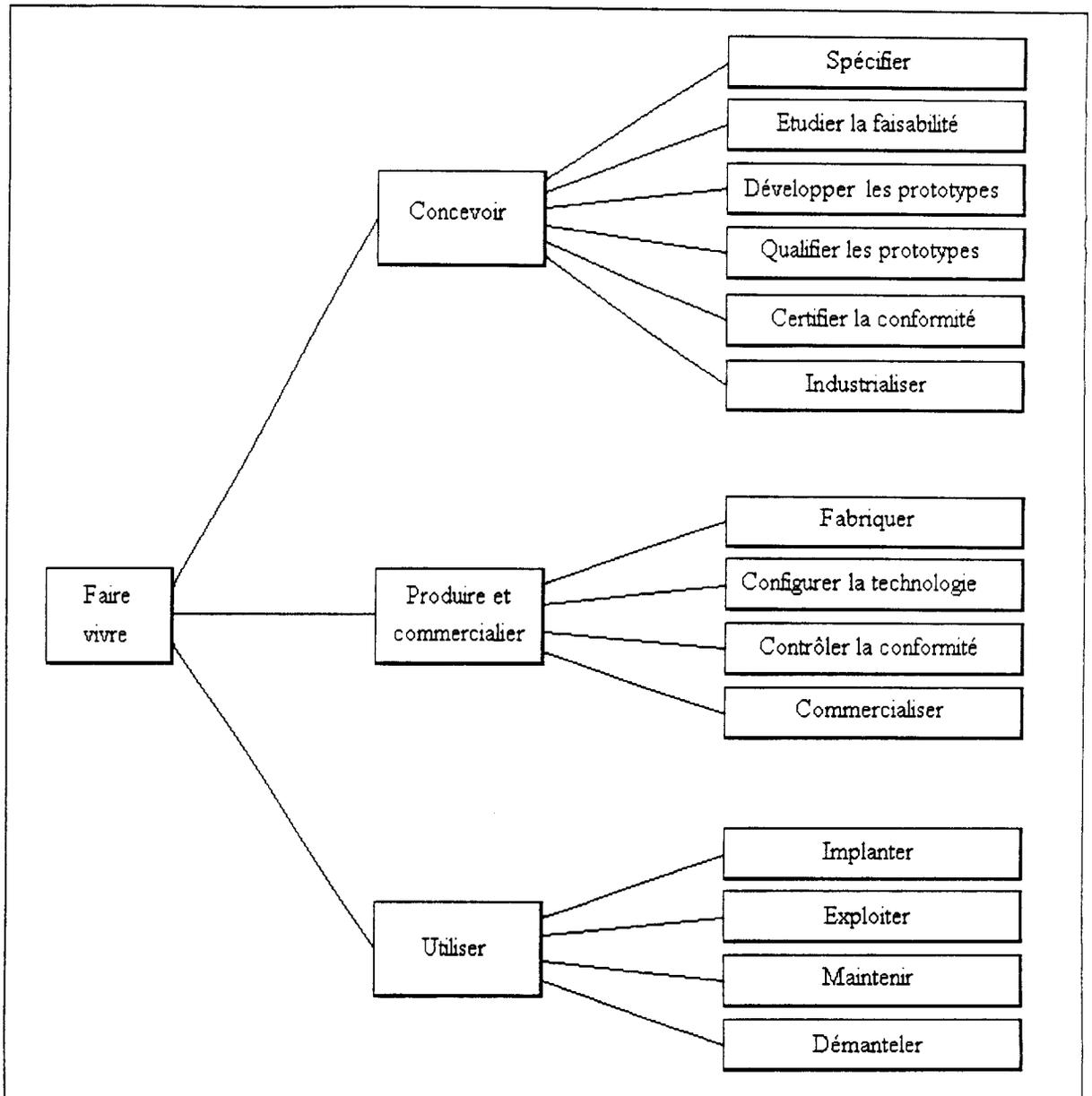


Figure III.1 : Cycle de vie du capteur intelligent.

La norme AFNOR PR Z68-901 [AFNOR 92] propose un cycle en V pour décrire la démarche globale permettant à partir du besoin initial d'arriver à un produit opérationnel. Ce cycle en V, adapté au capteur est représenté figure III.2. Il est issu du génie automatique et ne spécifie pas l'ensemble des étapes de la vie d'un capteur. Il montre que les étapes de conception et de réalisation doivent être confrontées à une phase de spécification de façon à garantir l'adéquation du produit fini aux besoins initiaux.

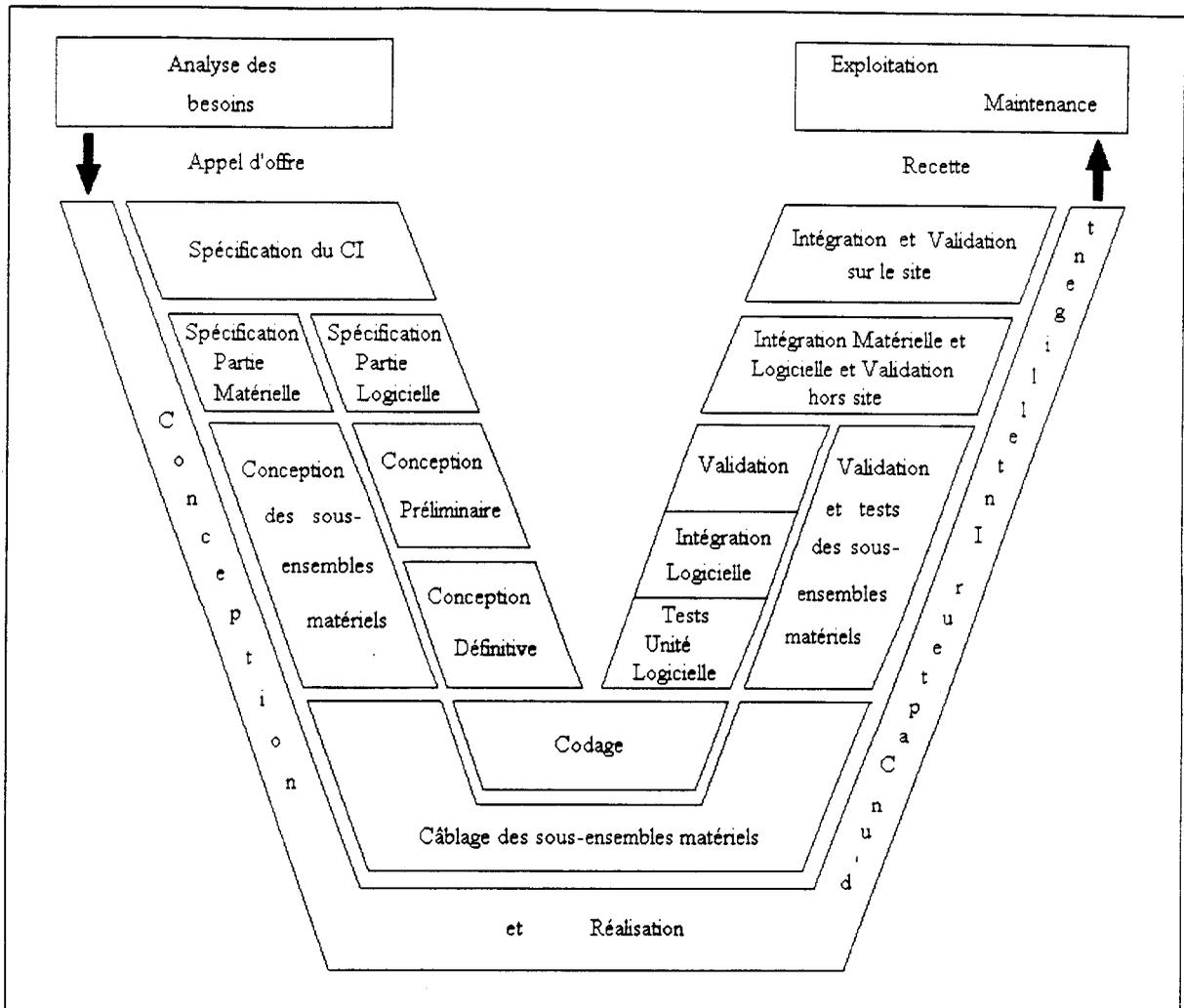


Figure III.2 : Cycle en V de la conception et réalisation d'un capteur intelligent (d'après [ROBE 93]).

De façon à détecter l'ensemble des étapes de la vie du capteur dans lesquelles l'intelligence peut apporter une aide aux intervenants (concepteur, constructeur, vendeur, installateur, etc.), nous avons choisi de réaliser l'analyse du cycle de vie du capteur intelligent par la méthode S.A.D.T.. Cette analyse n'ayant pas d'autre objectif que la mise en évidence des aides susceptibles d'être apportées aux différents intervenants, nous ne sommes pas toujours entrés dans les détails de la décomposition.

Les planches S.A.D.T. sont regroupées en fin de chapitre. Leur description détaillée fait l'objet des pages qui suivent. Les termes apparaissant sur les diagrammes sont repris dans le texte où ils figurent en italique et caractères gras.

### **3.2 : Diagramme Faire Vivre (planche A-0)**

Ce diagramme regroupe l'ensemble des étapes de la vie du capteur. En entrée, le capteur n'a pas encore d'existence physique. Il prend naissance à partir du besoin de connaître les images de certaines grandeurs physiques (*besoins utilisateurs*), et nécessite l'assemblage de *composants* choisis en fonction des solutions technologiques qui existent au moment où la demande est formulée.

En sortie, le capteur n'existe plus en tant qu'entité capable d'accomplir sa mission soit parce qu'il est irréparable, soit parce qu'il est obsolète par rapport aux nouvelles solutions technologiques dont on dispose. Le capteur devient alors un *capteur en fin de cycle de vie*. Entre temps, il a rendu un ensemble de services (*services rendus*), en particulier il a délivré des images des mesurandes. Il a également fait l'objet de rapports (*rapports établis*) qui reprennent toutes les informations relatives à sa vie (par exemple : dossier de production, compte-rendu des opérations de maintenance). Les échecs susceptibles de survenir à chaque étape (par exemple : pièces non conformes aux spécifications, études n'ayant pas abouti) sont regroupées sous la sortie *rebuts*.

Chaque phase de vie implique différentes personnes : *les intervenants* (par exemple : le concepteur, le distributeur, l'opérateur de maintenance) qui disposent pour accomplir leur travail d'un ensemble d'*outils* matériels et logiciels.

Malgré tout, la réalisation de chaque activité reste soumise à certaines contraintes. Les principales sont :

- l'*état de l'art* qui rassemble les solutions technologiques et précise l'existant,
- les *méthodes* qui regroupent l'ensemble des "savoir-faire" des différents intervenants,
- les *contraintes technologiques et économiques* qui conditionnent les choix (par exemple : fourchette de prix admissible, conditions d'environnement attendues, précision souhaitée),
- les *objectifs* qui fixent à long terme, les politiques de production ou de commercialisation des entreprises.

On remarquera d'après cette première description que figurent sur les diagrammes S.A.D.T. aussi bien les flux de produits (par exemple : transformation des composants en capteur en fin de cycle de vie) que les flux d'information (par exemple : transformation des besoins utilisateurs en services rendus).

### **3.3 : Décomposition de Faire Vivre (planche A0)**

Le cycle de vie du capteur intelligent (C.I.), résumé par l'activité Faire Vivre, se découpe en trois sous-activités principales dans lesquelles interviennent trois corps de métiers bien spécifiques. Ces trois sous-activités sont :

- Concevoir,
- Produire et commercialiser,
- Utiliser.

Chaque fonction demande de la part des intervenants des compétences propres et adaptées. L'analyse du rôle occupé par chacun d'eux permet de voir dans quelle mesure l'intelligence du capteur peut être mise à profit.

#### **3.3.1 : L'activité : Concevoir**

D'après la norme AFNOR X50-127 [AFNOR 88], l'étape de conception est définie comme l'activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable.

Les personnes intervenant au niveau de l'activité Concevoir appartiennent pour la majorité d'entre elles, au **bureau des études**. Le rôle du bureau des études est non seulement de concevoir et de mettre au point les produits nouveaux mais également d'améliorer les produits déjà existants. Il dispose pour ceci d'**outils de conception** (planches à dessin, logiciel de C.A.O., bancs de mesure, etc.).

Un produit peut être amené à évoluer :

- soit parce que sa définition ne répond plus aux besoins des utilisateurs qui évoluent au cours du temps,
- soit par évolution des moyens et procédés technologiques,
- soit par prise en compte de considérations économiques nouvelles,
- etc..

La mise au point du produit nouveau, ou l'amélioration du produit déjà existant, tient compte :

- des **besoins utilisateurs** qui expriment la nécessité d'un nouveau procédé de mesure,

- des **nouveaux besoins utilisateurs** qui traduisent une amélioration à fournir à un produit déjà existant en fonction d'un retour d'utilisation mettant par exemple en évidence un défaut particulier ou une insuffisance vis à vis des nouvelles possibilités technologiques,
- des **nouveaux besoins constructeurs et commerciaux** qui révèlent, à la suite d'une première expérience, tout type de problème n'ayant pas été envisagé par le bureau des études, ou qui naissent avec la volonté de prendre en considération des critères économiques ou technologiques nouveaux.

Cette élaboration se fait également compte tenu :

- de l'**état de l'art** qui rend compte des solutions technologiques déjà existantes,
- des **méthodes de conception** qui représentent les différentes démarches à suivre pour aboutir au résultat souhaité,
- des **contraintes de conception** (telles que délai d'aboutissement de l'étude, respect d'un standard, d'une norme, prise en compte du contexte industriel ...) qui complètent les besoins exprimés de façon à définir totalement le cahier des charges.

Sur le plan matériel, les **composants de conception** sont une entrée supplémentaire. Ils entrent dans la réalisation d'un prototype dont la conformité est vérifiée par un **organisme de certification**.

Enfin, le travail réalisé par le bureau des études est complété par le **bureau des méthodes** dont le rôle est de définir la manière dont le produit sera fabriqué. Il en découle deux documents : le **dossier de production** et le **dossier client**.

☐ Le dossier de production constitue une donnée de contrôle pour l'activité Produire et commercialiser. Il regroupe des documents tels que :

- les dessins : dessins d'ensemble, dessins de sous-ensemble, dessins de pièces détachées,
- la nomenclature qui énonce la liste de toutes les pièces composant le produit avec indications de leurs caractéristiques essentielles,
- les gammes de fabrication : documents dans lesquels sont énumérées et décrites les opérations à réaliser avec indication de l'ordre à respecter,
- le devis estimatif fournissant un ordre de grandeur du prix de revient du produit,
- etc..

☐ Le dossier client quant à lui constitue une donnée de contrôle pour l'activité Utiliser. Il regroupe des informations telles que :

- les conditions d'utilisation,
- la précision,
- les schémas de principe,
- la liste et la nature des opérations d'entretien,
- etc..

Bien entendu, avant d'aboutir à une solution acceptable, certaines études peuvent conduire à des échecs qui constituent des **rebut**s de conception.

A priori, le produit n'étant pas encore réalisé, il ne peut rien apporter en termes de service. Cependant, de façon indirecte, les traitements numériques offrent de nouvelles possibilités. Tout d'abord d'un point de vue métrologique, ils permettent la réhabilitation de transducteurs fortement non linéaires et l'élaboration de grandeurs virtuelles qui demeuraient inaccessibles auparavant. Ils concourent donc, de ce fait à l'augmentation du nombre de solutions technologiques englobées par l'état de l'art. D'un autre côté, le développement de modules matériels et logiciels dont les fonctionnalités sont parfaitement normalisées, devrait déboucher sur la réalisation d'outils d'aide à la conception de capteurs intelligents. Ces nouvelles méthodes de conception devraient permettre de vérifier l'adéquation des spécifications et des performances et ainsi de répondre rapidement aux besoins des clients.

### **3.3.2 : L'activité : Produire et commercialiser**

L'activité Produire et commercialiser regroupe les différentes étapes de la vie du capteur intelligent entre le début de sa fabrication et sa livraison chez l'utilisateur. Elle traduit le fait que les **composants de fabrication** (matières premières, produits intermédiaires, etc.) sont transformés par les constructeurs en capteurs intelligents fabriqués, ceux-ci étant ensuite fournis aux utilisateurs par les commerciaux. Ainsi, les **constructeurs et les commerciaux** dotés d'**outils** (par exemple : les machines-outils pour les constructeurs, les répertoires clients pour les commerciaux) génèrent des **capteurs intelligents finis livrés**.

Bien entendu, la transformation des composants de fabrication en produits finis est contrôlée par des règles définies par :

- le **dossier de production** qui énumère les caractéristiques des produits ou composants entrant dans la fabrication, spécifie les cotes et tolérances de toutes les pièces, et détaille les assemblages,
- les **méthodes de fabrication** qui précisent la manière dont le produit est fabriqué (machines à utiliser, répartition du travail, etc.), ceci en fonction des possibilités

techniques des machines, de l'implantation des postes de travail, de l'importance du programme de fabrication,

- les **objectifs de production** qui fixent à long terme la politique générale de production de l'entreprise. Ils doivent tenir compte des **contraintes de commercialisation**.

Malgré tout, à chaque étape de ce processus de transformation peuvent survenir un certain nombre d'échecs dont l'ensemble constitue les **rebuts de production et de commercialisation** (par exemple : assemblage de deux pièces trop difficile, prix de revient trop élevé). Les suggestions ou les remarques émises par les constructeurs ou les commerciaux à propos des problèmes rencontrés, expriment les **nouveaux besoins constructeurs et commerciaux** et sont prises en compte par l'activité Concevoir.

A ce stade, le capteur peut grâce à son intelligence rendre des services (**services rendus par le capteur intelligent**) aux intervenants de l'activité Produire et commercialiser. Ces services sont détaillés au paragraphe 3.5 qui présente la décomposition de l'activité Produire et commercialiser.

### **3.3.3 : L'activité : Utiliser**

L'activité Utiliser regroupe toutes les phases de la vie du capteur entre sa livraison et sa mise au rebut. Elle est l'étape principale de la vie du capteur puisqu'elle est normalement la plus longue et surtout celle où le capteur répond à sa véritable mission qui est de délivrer des images représentatives des grandeurs physiques.

Cette activité reçoit donc tout naturellement en entrée un **capteur intelligent fini livré**. Elle utilise également, pour rendre le capteur fonctionnel, des **composants** (composants d'implantation, pièces de secours pour la réparation, consommables, etc.). Les intervenants au cours de la période d'utilisation du capteur intelligent sont l'**installateur** à qui est confiée l'intégration du capteur intelligent au sein du système, l'**exploitant** qui consomme les grandeurs élaborées par le capteur, l'**opérateur de maintenance** chargé de l'entretien et des éventuelles réparations, l'**opérateur de démantèlement** qui retire définitivement le capteur de son site d'exploitation. Chaque intervenant utilise bien sûr, des **outils** qui lui sont propres. Il intervient sur le capteur de façon à répondre le mieux possible aux **objectifs d'exploitation** et conformément aux directives inscrites dans le **dossier client** issu de la phase de conception, qui précise le fonctionnement du capteur, les règles d'entretien, les références des pièces et éléments de rechange, etc.. Il prend également en compte certaines caractéristiques environnementales de l'installation (possibilité de raccordement, accessibilité, température ...)

qui font que le capteur ne peut pas être utilisé dans n'importe quelles conditions. Ces caractéristiques constituent les *contraintes d'implantation et d'utilisation*.

De plus, au cours de son utilisation, avant de devenir un *capteur intelligent en fin de cycle de vie*, le capteur intelligent rend des services (*services rendus par le capteur intelligent*). Il fait également l'objet de *rapports d'utilisation* (par exemple, compte-rendu d'exploitation, compte-rendu de maintenance). Ces rapports peuvent être à l'origine de *nouveaux besoins utilisateurs* (par exemple, revoir la conception d'une pièce trop fragile ou d'un composant trop sensible à un type de bruit) .

### **3.4 : Décomposition de Concevoir (planche A1)**

Le rôle de l'activité Concevoir est de définir le produit, en réalisant des choix successifs portant sur des points de plus en plus détaillés tout en veillant à ce que le produit réponde aux besoins. L'activité Concevoir se traduit par l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel (CdCF) qui est un document qui évolue et s'enrichit progressivement au cours de la création d'un produit, depuis la saisie du besoin jusqu'au lancement du développement [AFNOR 90]. Elle peut être décomposée en six activités de niveau inférieur :

- Spécifier,
- Etudier la faisabilité,
- Développer les prototypes,
- Qualifier les prototypes,
- Certifier la conformité,
- Industrialiser.

Le concepteur pourra être aidé dans la majeure partie de ces étapes par des outils de Conception Assistée par Ordinateur (C.A.O.) qui lui permettent de dessiner tout en corrigeant facilement les schémas de principe et de description du produit, d'analyser les caractéristiques de fonctionnement du capteur (réponses aux sollicitations, comportement dynamique, etc.) et de préparer l'ensemble des documents [GIAM 85].

### **3.4.1 : L'activité : Spécifier**

L'activité Spécifier consiste à prescrire les exigences auquel le produit doit se conformer, c'est à dire à définir, à partir du besoin à satisfaire, les fonctions et les performances attendues du produit :

- A quel type de mesurande le capteur doit-il être sensible ?
- Quelles doivent être ses caractéristiques métrologiques (précision, sensibilité, finesse, etc.) ?
- Quelles précautions particulières faut-il prendre tenu de l'environnement dans lequel le capteur doit s'insérer ?

Les spécifications sont établies par le *bureau des études* qui dispose d'*outils de spécification* (en particulier d'outils d'analyse fonctionnelle). Elles traduisent les *besoins utilisateurs*, les *nouveaux besoins constructeurs et commerciaux* et les *nouveaux besoins utilisateurs*. Elles sont élaborées compte tenu de l'*état de l'art* et suivant une démarche définie par les *méthodes de spécification*. Elles prennent également en compte les *contraintes de spécification* qui limitent la liberté du concepteur mais sont jugées nécessaires par le demandeur. Lorsqu'au document de caractère purement fonctionnel qu'est le CdCF sont ajoutées les principales options techniques retenues, l'ensemble des *spécifications technologiques* est formulé et est transmis à l'activité Etudier la faisabilité.

D'autre part, si les spécifications ne peuvent être complètement déterminées parce qu'il n'existe pas, par exemple, de solution technologique pour réaliser un transducteur sensible à un mesurande particulier, des *rebut de spécification* sont générés.

### **3.4.2 : L'activité : Etudier la faisabilité**

L'activité Etudier la faisabilité analyse dans quelle mesure une réponse aux besoins exprimés peut être formulée en comparant les différentes voies possibles. Pour chaque solution, a priori envisageable, les grandes lignes (options fonctionnelles, principes généraux utilisés, durée et importance des études, prix de revient, etc.) sont tracées afin de déterminer quelles solutions répondent aux objectifs technologiques et économiques. Il s'agit à ce stade de concevoir une structure fonctionnelle ou un schéma de principe sur lequel on effectue des vérifications globales sans prendre en compte le détail de la réalisation qui n'est pas encore précisé.

Cette activité reçoit donc en entrée les *spécifications technologiques* établies par l'activité Spécifier. En fonction des *objectifs économiques et commerciaux*, elle génère des *spécifications validées* ou elle décide que le capteur n'est pas réalisable (*capteur intelligent non réalisable*). Cette activité est prise en charge par le *bureau des études*.

### **3.4.3 : L'activité : Développer les prototypes**

L'activité Développer les prototypes a pour but d'étudier les voies reconnues comme possibles en fin d'étude de faisabilité afin de retenir celle qui sera développée. Pour chaque voie envisageable, les options techniques sont analysées et un prototype est réalisé. Une solution ne sera retenue que si elle donne lieu à la réalisation d'un prototype satisfaisant les conditions de qualification (*prototype à qualifier*) et de conformité imposées. Le prototype est élaboré conformément aux *spécifications validées*, à partir d'un assemblage de *composants de conception*. Les retours d'expérience traduits par les deux entrées *prototypes refusés* et *prototypes non conformes* sont également pris en compte lors de l'élaboration du prototype. D'autre part, chaque prototype réalisé par le *bureau des études* qui dispose d'*outils de développement* fait l'objet d'une description technique et fonctionnelle reprise dans le *dossier de conception*.

### **3.4.4 : L'activité : Qualifier les prototypes**

L'activité Qualifier les prototypes consiste à associer aux prototypes un certain nombre d'attributs de façon à vérifier qu'ils satisfont pleinement les besoins exprimés par les utilisateurs. La qualification des prototypes porte sur des aspects tels que la vérification des exigences métrologiques (précision, temps de réponse, étendue de mesure ...), l'aptitude à fonctionner dans des conditions prévues d'utilisation et d'environnement, l'évaluation des contraintes de stockage, d'entretien ..., l'estimation de la durée de vie, etc.. Elle est réalisée par le *bureau des études* chargé de vérifier une liste de points conformément à des méthodes définies par le *manuel qualité*.

D'une façon générale, les objectifs de qualité peuvent être définis à toutes les étapes de la vie d'un produit. Ils garantissent la meilleure adéquation entre les besoins formulés et le produit réalisé. Ils visent à satisfaire chaque intervenant. On pourra à ce titre consulter les normes AFNOR de la série ISO 9000 [AFNOR 87].

Les résultats attendus sont définis par les *spécifications validées*. En fonction ou non de la vérification de ces résultats, les *prototypes à qualifier* deviennent des *prototypes qualifiés* ou des *prototypes refusés*.

### **3.4.5 : L'activité : Certifier la conformité**

L'activité Certifier la conformité consiste à faire subir au *prototype qualifié* une suite de tests non plus cette fois pour s'assurer qu'il répond aux attentes de l'utilisateur mais de manière à vérifier qu'il est conforme aux exigences réglementaires définies par les *normes* nationales et internationales. Ces vérifications sont assurées par un organisme de certification (LNE, ACERLI ...) qui, en fonction de directives définies par les méthodes d'évaluation, analyse le prototype en tenant compte du contenu du *dossier de conception*. Les organismes de certification sont donc habilités à déclarer les prototypes conformes ou non (*prototypes conformes, prototypes non conformes*).

On notera, à ce propos qu'un groupe de travail du CIAME (Comité Interprofessionnel pour l'Automatisation et la MEsure) a élaboré un guide des méthodes d'évaluation du capteur intelligent [ROBE 93].

### **3.4.6 : L'activité : Industrialiser**

L'activité Industrialiser est la dernière phase de l'activité Concevoir. Elle a pour rôle de préparer la réalisation et l'utilisation de la solution retenue. Elle est prise en charge par le *bureau des méthodes* qui constitue, à partir des *spécifications validées* et du *dossier de conception*, le *dossier de production* (décomposition des tâches de fabrication, liste et références des constituants, plan et dossier de contrôle ...) et le *dossier client* (documents de mise en place, de mise en service, notices d'utilisation, document de maintenance, liste des distributeurs ...). Cette activité n'est réalisée que si les prototypes ont été déclarés conformes (*prototypes conformes*).

## **3.5 : Décomposition de Produire et commercialiser** (planche A2)

L'activité Produire et commercialiser regroupe les étapes de la vie du capteur entre le lancement de sa fabrication et sa livraison chez le client. Elle se décompose en quatre activités principales qui sont :

- Fabriquer,
- Configurer la technologie,
- Contrôler la conformité,
- Commercialiser.

Bien entendu, il peut y avoir, en particulier après la fabrication ou avant la commercialisation un laps de temps pendant lequel le capteur est stocké. Il en est de même, par exemple, avant l'installation ou après la maintenance. Cette phase de stockage qui apparaît à plusieurs endroits du cycle de vie est complémentaire des autres. Elle n'est donc pas explicitée à chaque fois qu'elle est présente.

### **3.5.1 : L'activité : Fabriquer**

L'activité Fabriquer regroupe toutes les étapes qui permettent à partir d'un ensemble de *composants de fabrication* (matières premières, produits intermédiaires, etc.) d'aboutir à un *capteur intelligent fabriqué* dans le cas le plus favorable ou à des *rebut de fabrication* le cas échéant (par exemple : bris d'outils, défaut pièce fournisseur). Les problèmes rencontrés ou les éventuelles suggestions sont transmises par la sortie *nouveaux besoins constructeurs*.

Cette activité est réalisée au sein des ateliers et des usines. Elle utilise un ensemble d'*outils de fabrication* (machines, robots ...). Elle est dirigée par le *constructeur* qui organise la fabrication en fonction :

- des informations qui lui sont fournies par le *dossier de fabrication* (nomenclature, dessins, gammes de fabrication, etc.),
- des *méthodes de fabrication* qui traduisent l'expérience du constructeur,
- des *objectifs techniques de fabrication* (par exemple : optimisation de la répartition du travail afin de minimiser la durée de fabrication d'une pièce).

Le capteur, à ce stade, n'est encore qu'une interconnexion de composants. Il n'est pas encore en mesure de rendre des services puisque son intelligence n'est pas opérationnelle.

### **3.5.2 : L'activité : Configurer la technologie**

L'activité Configurer la technologie consiste d'une part à équiper le capteur de certaines options choisies par l'utilisateur (par exemple, sortie analogique supplémentaire, module logiciel particulier) et d'autre part, à effectuer les réglages et paramétrages rendant le capteur

mesurant et communiquant. Les paramètres qui ne doivent jamais être modifiés tels que le numéro de série, la date de fabrication sont initialisés à l'étape de fabrication. La configuration de la technologie quant à elle, concerne entre autres :

- la configuration de la communication qui consiste à fournir au capteur la possibilité de communiquer via le réseau,
- la configuration d'une partie de la base de données, par exemple :
  - . définition des valeurs limites,
  - . mémorisation des caractéristiques d'utilisation (lois de linéarisation, lois de correction en fonction des grandeurs d'influence, etc.),
  - . définition des seuils de tolérance,
- l'étalonnage (ajustement des valeurs de gain et d'offset).

La configuration de la technologie est réalisée par le **constructeur** à l'aide **d'outils de configuration** (tournevis pour le réglage des potentiomètres, terminal local pour écrire les paramètres en base de données ...). Les opérations de configuration se font conformément aux **directives de configuration** (étapes à suivre, données à mémoriser...) établies par l'activité Concevoir. Elles permettent la transformation du **capteur intelligent fabriqué** en **capteur intelligent configuré**. Elles rendent également l'intelligence opérationnelle. Le constructeur bénéficie alors d'une classe de services particuliers : les **services de configuration**. Ces derniers se caractérisent essentiellement par des aides à la mémorisation des valeurs des paramètres de configuration grâce à un éditeur de configuration et une validation des données entrées par le constructeur.

### **3.5.3 : L'activité : Contrôler la conformité**

Cette activité consiste à vérifier que le capteur répond bien à l'ensemble des spécifications définies. Elle est en grande partie réalisée chez le constructeur par le service de contrôle. On distingue plusieurs formes de contrôle :

- le contrôle quantitatif porte essentiellement sur le respect des cotes et des caractéristiques métrologiques (précision, temps de réponse, etc.),
- le contrôle qualitatif requiert des contrôleurs une certaine expérience car il a pour but de déceler des défauts de fabrication, plus ou moins apparents (fissures, manque de pénétration de la soudure, etc.),

Ces contrôles peuvent être réalisés suivant des procédures systématiques ou par échantillonnage.

---

Dans tous les cas les éléments et les points sur lesquels doit porter le contrôle ainsi que la manière de procéder sont définis par les **directives de contrôle**. Le **capteur intelligent configuré** ayant satisfait à l'ensemble des opérations de contrôle devient un **capteur intelligent qualifié et configuré**. Cette activité est réalisée par le **service de contrôle** qui dispose d'**outils de vérification** (courbes de référence, éléments étalons ...). Elle peut bénéficier, en particulier grâce aux possibilités de communication, de **services de contrôle** rendus par le capteur tels que par exemple :

- la visualisation du contenu d'une partie de la base de données,
- la simulation de pannes ou de dégradations,
- les procédures d'auto-test,
- etc..

### **3.5.4 : L'activité : Commercialiser**

Nous avons regroupé, sous l'activité Commercialiser, les étapes de la vie du capteur au cours desquelles un **capteur intelligent qualifié et configuré** chez le constructeur est transformé en un **capteur intelligent livré** chez l'utilisateur. Autrement dit, l'activité Commercialiser rassemble les étapes de :

- stockage, transport, livraison,
- réception après livraison chez le client,
- stockage chez le client.

Cette activité est essentiellement prise en charge par le **distributeur** qui s'occupe de la recherche des clients, du transport et de la livraison du produit. Il dispose pour ce faire d'**outils de distribution** (catalogues des produits proposés, répertoire client, marché avec des sociétés de transport, etc.).

Elle est soumise à des **contraintes de commercialisation** (par exemple : le prix de vente doit être voisin de celui d'un produit équivalent d'un concurrent, délai de livraison) et doit répondre à des **objectifs de commercialisation** (par exemple : obtenir un nombre de parts de marché prédéterminé, garantir un service après vente).

Grâce à son intelligence, le capteur peut rendre des services dans plusieurs étapes de la commercialisation. Par exemple, les durées des phases de stockage peuvent être surveillées ainsi que les conditions de stockage (température, humidité). De même, à la réception chez le client, l'intelligence apporte son concours à la réalisation des tests de bon fonctionnement et d'intégrité. L'ensemble de ces services rendus constitue les **services de commercialisation**.

---

Cette étape peut être à l'origine de **nouveaux besoins commerciaux** (par exemple : le capteur est beaucoup trop sensible aux chocs ou l'autonomie de sa batterie n'est pas suffisante pour couvrir des durées de stockage et de transport supérieures aux prévisions).

### **3.6 : Décomposition de Utiliser** (planche A3)

L'activité Utiliser correspond à la dernière partie du cycle de vie du capteur. Elle débute à la livraison chez l'utilisateur qui dédie le capteur à une application et se termine lorsque l'utilisateur ou l'opérateur de maintenance décide que le capteur n'est plus capable de répondre aux besoins. La décomposition de l'activité Utiliser laisse apparaître quatre sous-activités principales :

- Planter,
- Exploiter,
- Maintenir,
- Démanteler.

#### **3.6.1 : L'activité : Planter**

L'activité Planter consiste à intégrer le capteur au sein de l'installation et à le dédier à l'application. Elle est réalisée selon les étapes suivantes :

- le déstockage qui inclut les opérations de vérification de bon fonctionnement et d'intégrité,
- la mise en place qui consiste à établir les liaisons physiques avec le processus et le système d'automatisation :
  - . positionnement, montage,
  - . raccordement avec les alimentations électriques et éventuellement énergétiques,
  - . raccordement au système de communication,
  - . contrôle des raccordements,
- la mise en service dont le rôle est d'établir les liaisons fonctionnelles avec le processus et le système d'automatisation. Elle inclut, par exemple :
  - . la définition de l'adresse physique du capteur pour qu'il puisse être reconnu comme producteur et consommateur d'information,
  - . la définition de la liste des identifiants des données consommées et produites par le capteur,

- . la mémorisation des codes d'accès des différents opérateurs (opérateur de configuration, opérateur de conduite, opérateur de maintenance ...),
- . la mémorisation des seuils d'alarme,
- . la saisie de paramètres d'archivage (liste des informations à archiver, longueur des traces d'archivage, fréquence d'archivage ...),
- . la saisie de paramètres de surveillance (paramètres des modèles de validation, temps de réponse maximum autorisés ...).

On constate alors que l'activité *Implanter* peut largement bénéficier des apports de l'intelligence locale. Les *services d'implantation* rendus sont entre autres :

- des possibilités de test d'intégrité et de bon fonctionnement après déstockage,
- des possibilités de vérification de la qualité des raccordements lors de la mise en place,
- différentes aides à la configuration pour la mise en service.

Cette activité est prise en charge par l'*installateur* qui dispose d'*outils* adéquats (console portable, tournevis ...). Elle transforme généralement le *capteur intelligent fini livré* et les *composants d'implantation* (vis, raccords, etc.) en un *capteur intelligent intégré dans l'installation*. Elle donne lieu à un *rapport d'implantation* qui précise où, quand et comment le capteur a été implanté. En cas d'échec (par exemple : raccordement impossible, mauvais fonctionnement), ce rapport est utilisé par l'activité *Maintenir* et le capteur lui parvient sous la forme d'un *capteur intelligent non implantable*.

On remarquera que la totalité des étapes d'implantation énumérées en début de paragraphe ne s'applique que sur un capteur provenant de l'extérieur du site industriel, soit parce qu'il n'a encore jamais fonctionné (il provient alors de l'activité *Produire et commercialiser*), soit parce qu'il a subi une réparation hors site (il provient alors de l'activité *Maintenir*). Cependant les opérations de maintenance, si elles se font parfois à l'extérieur, peuvent également être réalisées sur site. Dans ce cas, elles nécessitent parfois une remise en service du capteur. C'est pourquoi, l'entrée *capteur intelligent à réimplanter* traduit la nécessité, dans certains cas, de repasser par certaines étapes de la phase *Implanter* lorsque le capteur quitte l'activité *Maintenir*.

### **3.6.2 : L'activité : Exploiter**

L'activité *Exploiter* correspond à la phase principale de la vie du capteur puisque c'est en vue d'une exploitation des grandeurs qu'il génère que le capteur est conçu, produit et

commercialisé, implanté puis maintenu. L'activité Exploiter constitue donc la véritable raison d'être du capteur. Elle est caractérisée par de nombreux services rendus par un **capteur intelligent intégré dans l'installation** ou par un **capteur intelligent exploitable** rendu de nouveau opérationnel au sens d'une exploitation de ses données, suite à une opération de maintenance. Ces **services d'exploitation** sont bien sûr constitués pour la majeure partie d'entre eux par la génération des images des grandeurs physiques mais ils comprennent également l'autocalibration, l'autocompensation, l'auto-test, l'élaboration de données synthétiques telles que par exemple : l'état de disponibilité du capteur, les historiques, etc. qui constituent les aides à la conduite, à la maintenance et à la gestion vues dans le chapitre précédent.

Le bénéficiaire direct des services rendus est l'**exploitant**. Il a la possibilité d'intervenir sur le capteur (choix des grandeurs à afficher, format d'affichage, fréquence de rafraîchissement, etc.) par l'intermédiaire d'**outils** (console locale, logiciels d'exploitation ...) conformément aux indications données dans le **dossier d'exploitation**. Certains choix comme le lancement d'algorithmes particuliers de calcul (moyennage sur 10, 20 ou 100 données, choix d'une technique de filtrage ...) se feront de façon à répondre le mieux possible aux **objectifs d'exploitation** (par exemple : choix entre continuer à générer des données même si elles ne peuvent plus être validées totalement ou déclarer le capteur hors service, privilégier la précision au détriment du temps de réponse). Les objectifs d'exploitation représentent la stratégie générale de l'entreprise. Ils sont complétés par les **contraintes d'exploitation** (il est imposé d'avoir X mesures sur T secondes).

Certaines données obtenues grâce aux services d'exploitation (historique, informations d'état, etc.) complétées par les remarques de l'exploitant font l'objet d'un **rapport d'exploitation** qui est étudié par l'activité Maintenir en cas d'anomalie : **capteur intelligent non exploitable**. Lorsque le capteur ne satisfait plus les objectifs d'exploitation et ceci de façon irréversible, il devient un **capteur intelligent à démanteler**. L'exploitant formule, durant cette étape de vie du capteur, de **nouveaux besoins** qui concernent ce produit et qui prennent également en compte ses autres attentes.

### **3.6.3 : L'activité : Maintenir**

L'activité Maintenir agit sur les **capteurs intelligents non implantables** et sur les **capteurs intelligents non exploitables**. Elle les transforme selon les différents cas en **capteurs intelligents à réimplanter**, en **capteurs intelligents exploitables** lorsque la maintenance a eu

lieu sur le site et a été effectuée sur un capteur déjà implanté ou en *capteurs intelligents à démanteler* lorsqu'une réparation n'est pas possible.

Les opérations de maintenance sont réalisées par les *opérateurs de maintenance* qui peuvent dépendre de l'exploitant ou appartenir au service après-vente du fournisseur. Elles peuvent conduire au remplacement de pièces défectueuses. Les *pièces détachées* constituent donc une entrée de l'activité. Les opérateurs de maintenance agissent conformément au *dossier de maintenance*, établi par l'activité Concevoir, qui rassemble des documents tels que listes, références et fournisseurs des pièces de rechange, schémas synoptiques de dépannage, instructions et consignes de maintenance, etc.. Ils sont également tenu de respecter les *objectifs de maintenance* (coûts, délais, etc.). La recherche et la solution aux problèmes suscitant des opérations de maintenance sont facilitées par les rapports (*rapports d'implantation et d'exploitation*) qui comprennent des données élaborées rendant compte des opérations de surveillance (détection, localisation et diagnostic de défaut) résultant directement des possibilités obtenues grâce à l'intelligence du capteur.

L'exploitation de ces données constitue une grande partie des *services de maintenance*. Les opérations de maintenance donnent également lieu à des *rapports de maintenance* précisant la date, la nature du problème, les solutions apportées et dont l'exploitation permet de détecter les points faibles ou générateurs de pannes et de modifier le matériel pour les éliminer, d'améliorer la gestion des stocks de pièces de rechange, de prévoir le remplacement d'un matériel trop coûteux à entretenir, de définir les durées économiques d'amortissement, etc. [VISI 87]. A partir de ces rapports de maintenance de *nouveaux besoins* peuvent être générés.

#### **3.6.4 : L'activité : Démanteler.**

L'activité Démanteler constitue la dernière phase de la vie du capteur. Elle transforme un *capteur intelligent à démanteler* en un *capteur intelligent en fin de cycle de vie*. Elle est réalisée par l'*opérateur de démantèlement* selon le *dossier de démantèlement*. Ce dossier peut regrouper des informations telles que les procédures de démontage, les listes des composants à garder, etc..

### **3.7 : Conclusion**

L'analyse du cycle de vie du capteur a permis de dresser la liste des intervenants, de définir leur rôle, et de voir dans quelle mesure ils peuvent bénéficier des services rendus par le capteur intelligent.

C'est ainsi que, selon l'ordre de leurs interventions :

- le concepteur réalise l'étude du capteur et définit la manière de le réaliser,
- le constructeur réalise le produit et vérifie qu'il satisfait bien les spécifications de départ,
- le service commercial distribue le produit,
- l'installateur intègre le capteur au sein de l'application,
- l'exploitant tire parti au maximum des possibilités du capteur,
- l'opérateur de maintenance assure le suivi du bon fonctionnement du capteur,
- le service après-vente intervient éventuellement pour le réparer,
- l'opérateur de démantèlement retire définitivement le capteur de toute utilisation possible.

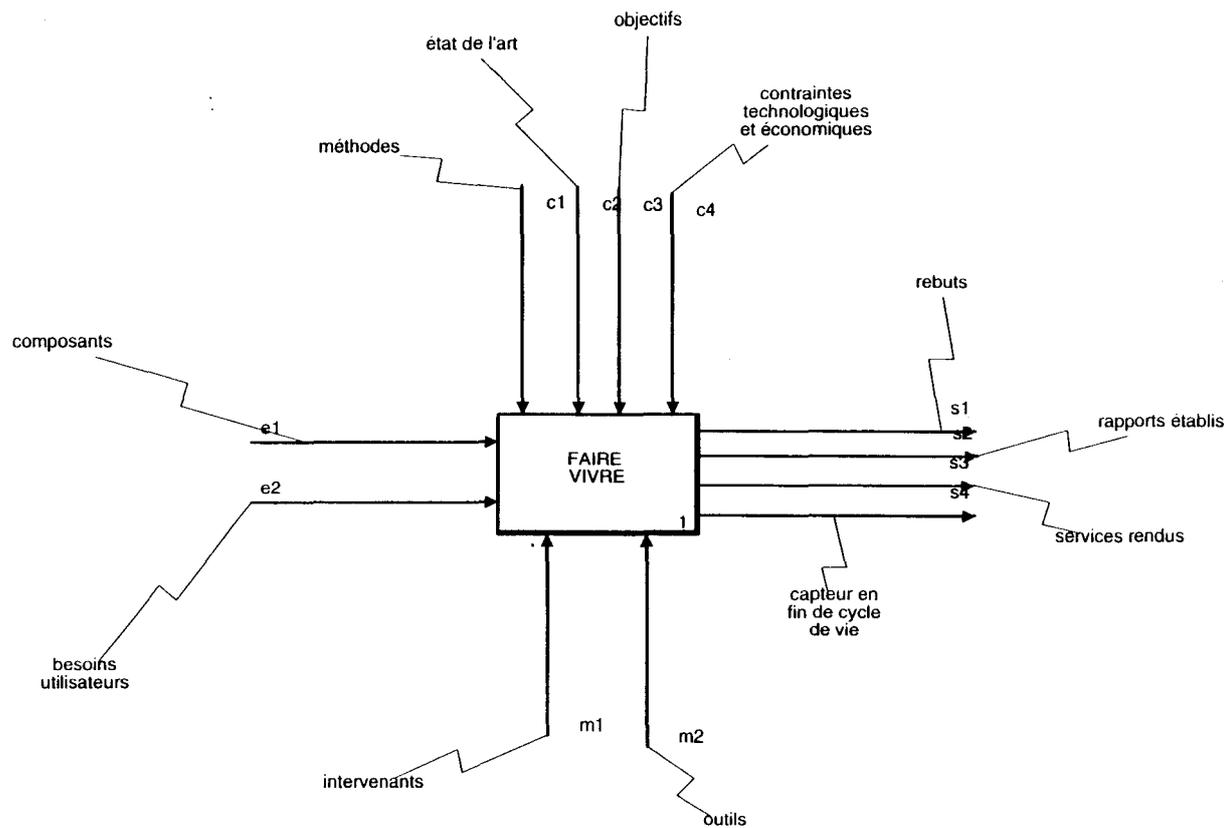
Les différents services apportés par le capteur se caractérisent par :

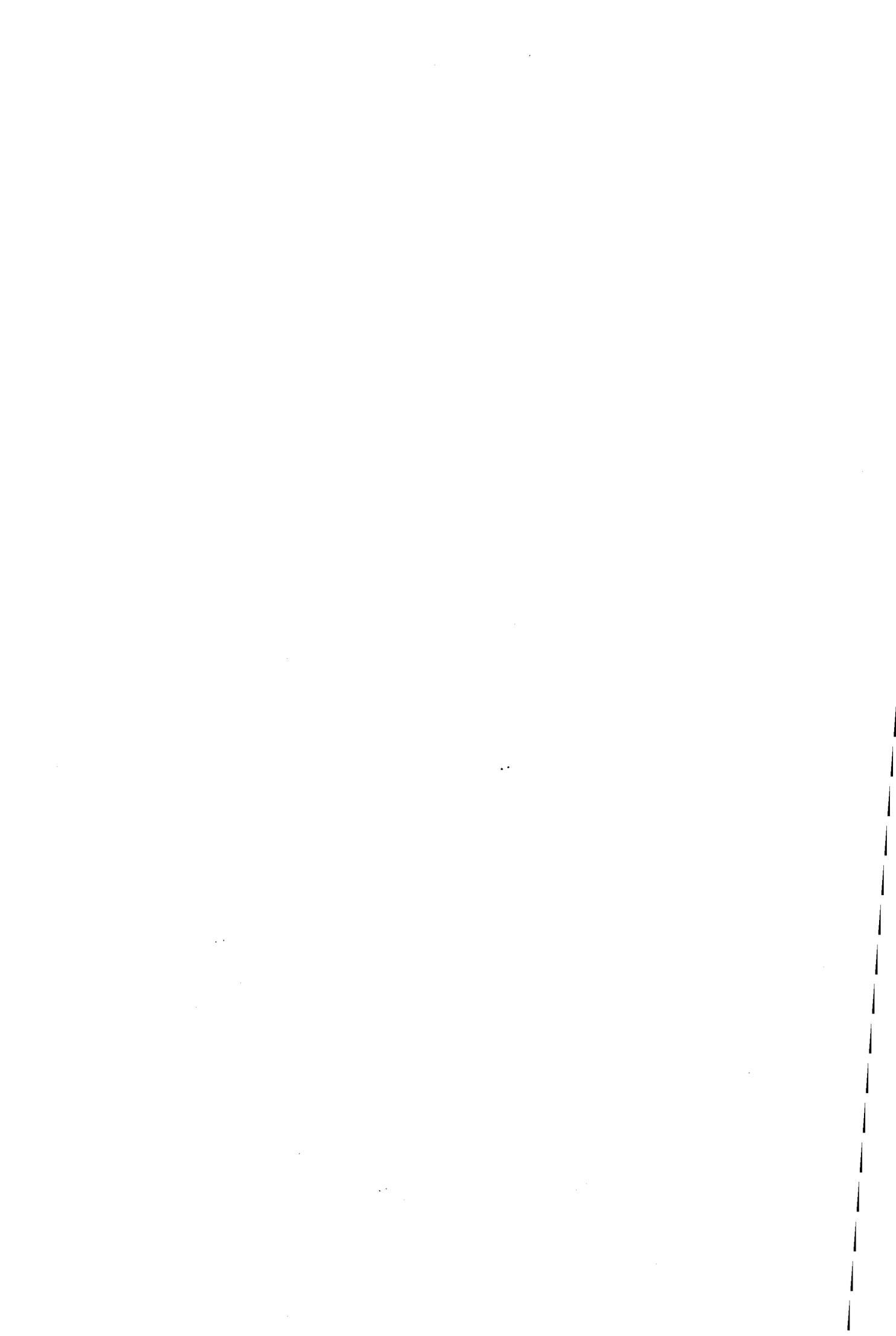
- des aides à la configuration (configuration par défaut, éditeur de configuration, validation systématique des paramètres saisis, etc.)
- des possibilités d'autocalibration et d'autocompensation qui facilitent l'étalonnage de la chaîne de mesure et prennent en compte les grandeurs d'influence, les dérives temporelles et qui remédient aux problèmes de non-linéarité,
- des possibilités d'autosurveillance et d'autotest qui facilitent la détection, la localisation et le diagnostic des défauts,
- la génération de grandeurs élaborées tels que les historiques qui laissent une trace de la vie du capteur,
- etc..

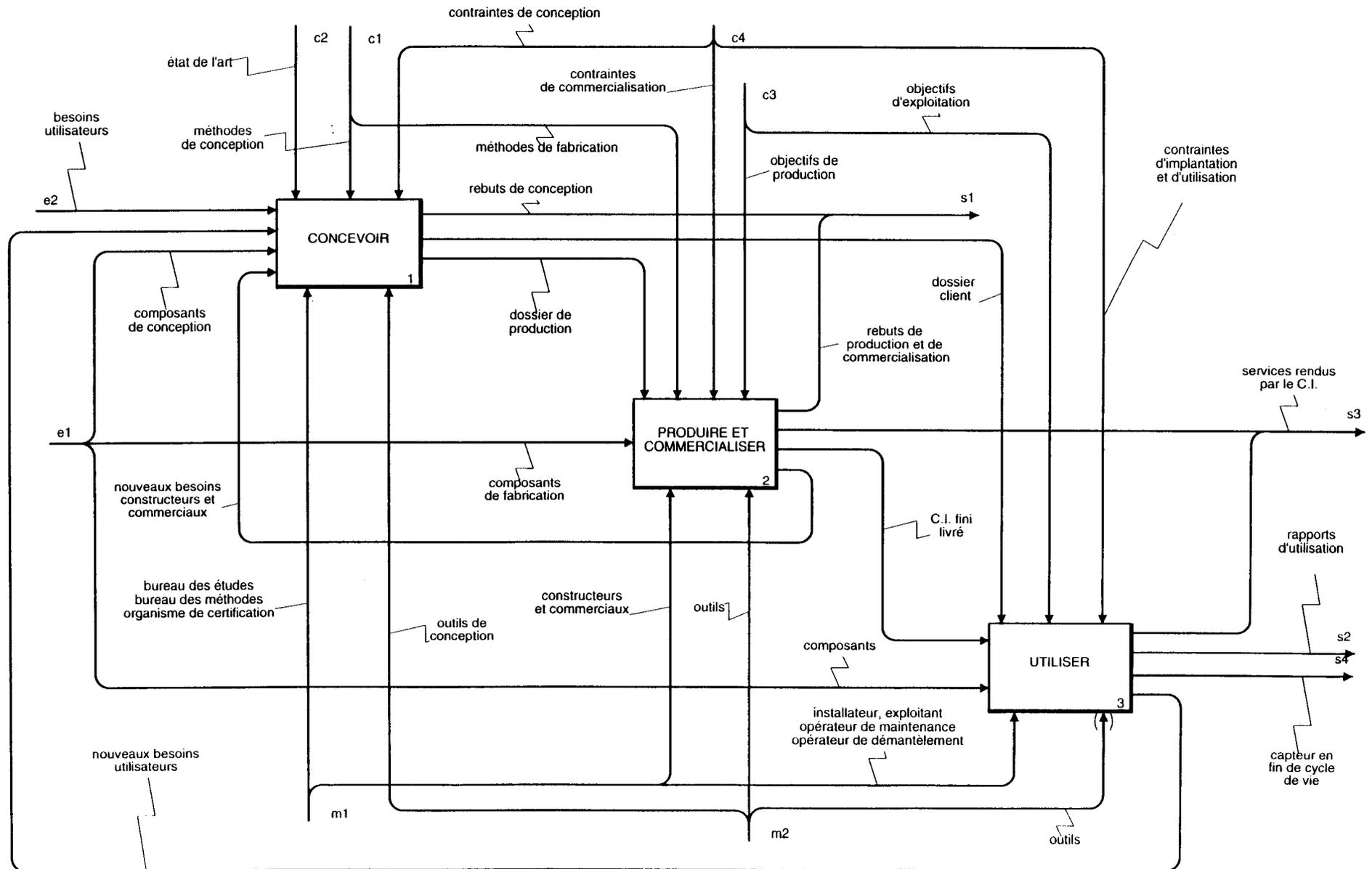
Pratiquement tous les intervenants peuvent profiter d'une partie de ces services, sauf le concepteur qui n'en bénéficie pas directement. L'ensemble de ces services constitue globalement l'intelligence du capteur. Mais leur implantation a bien sûr un coût. Par conséquent, de même que d'une façon générale, un capteur est choisi d'après ses performances (précision, étendue de mesure, temps de réponse, blindage ...) rapportées aux besoins nécessités par son exploitation (rôle informationnel ou décisionnel de la mesure, dynamique du mesurande, milieu d'implantation ...), les services intégrés au capteur seront fonction d'une application donnée. Ainsi, pour des applications différentes, donc pour des besoins différents,

on utilisera des capteurs de performance (donc de coût) différents ; cette performance s'exprimant en terme de qualité de la grandeur générée et de services rendus.

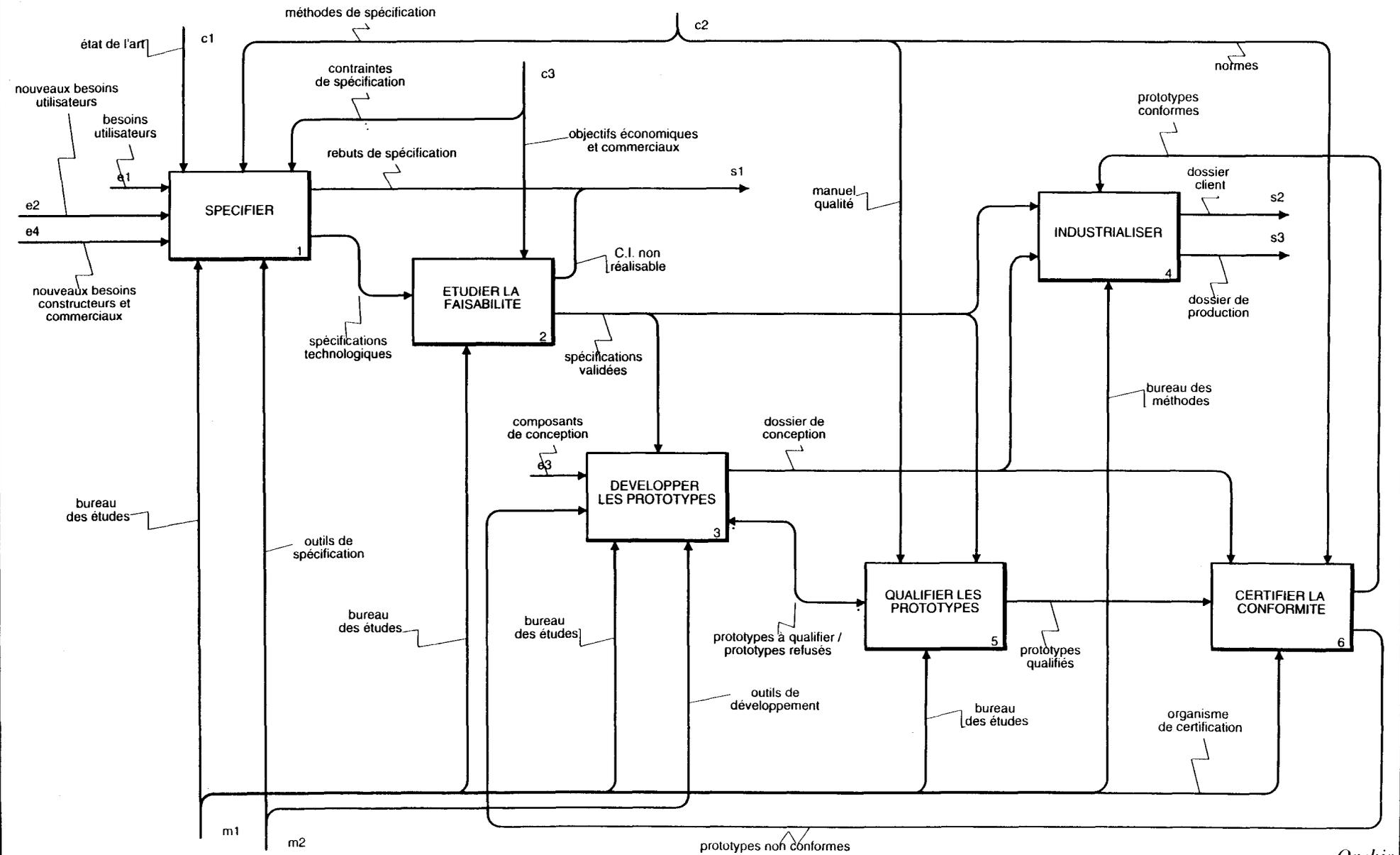




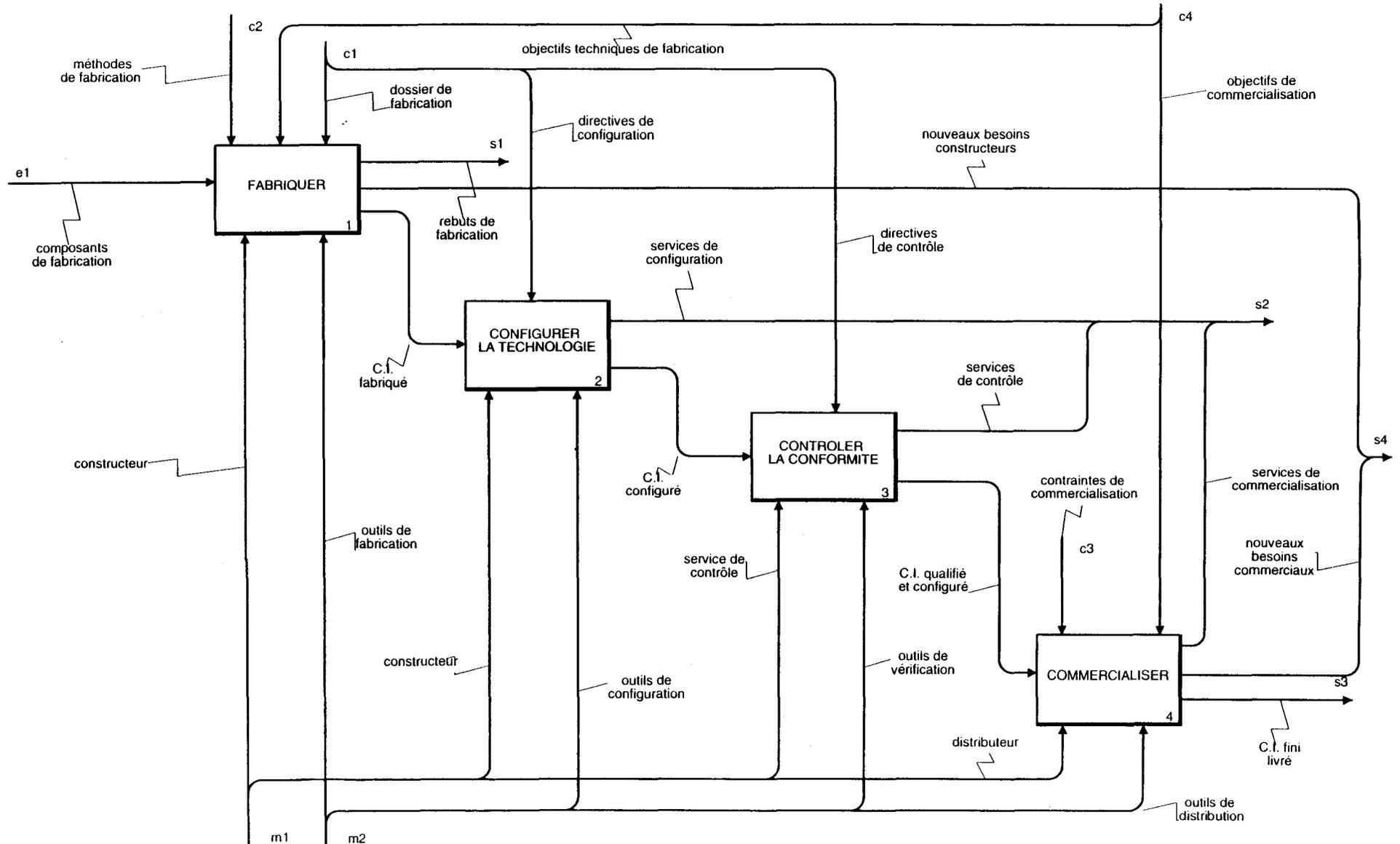










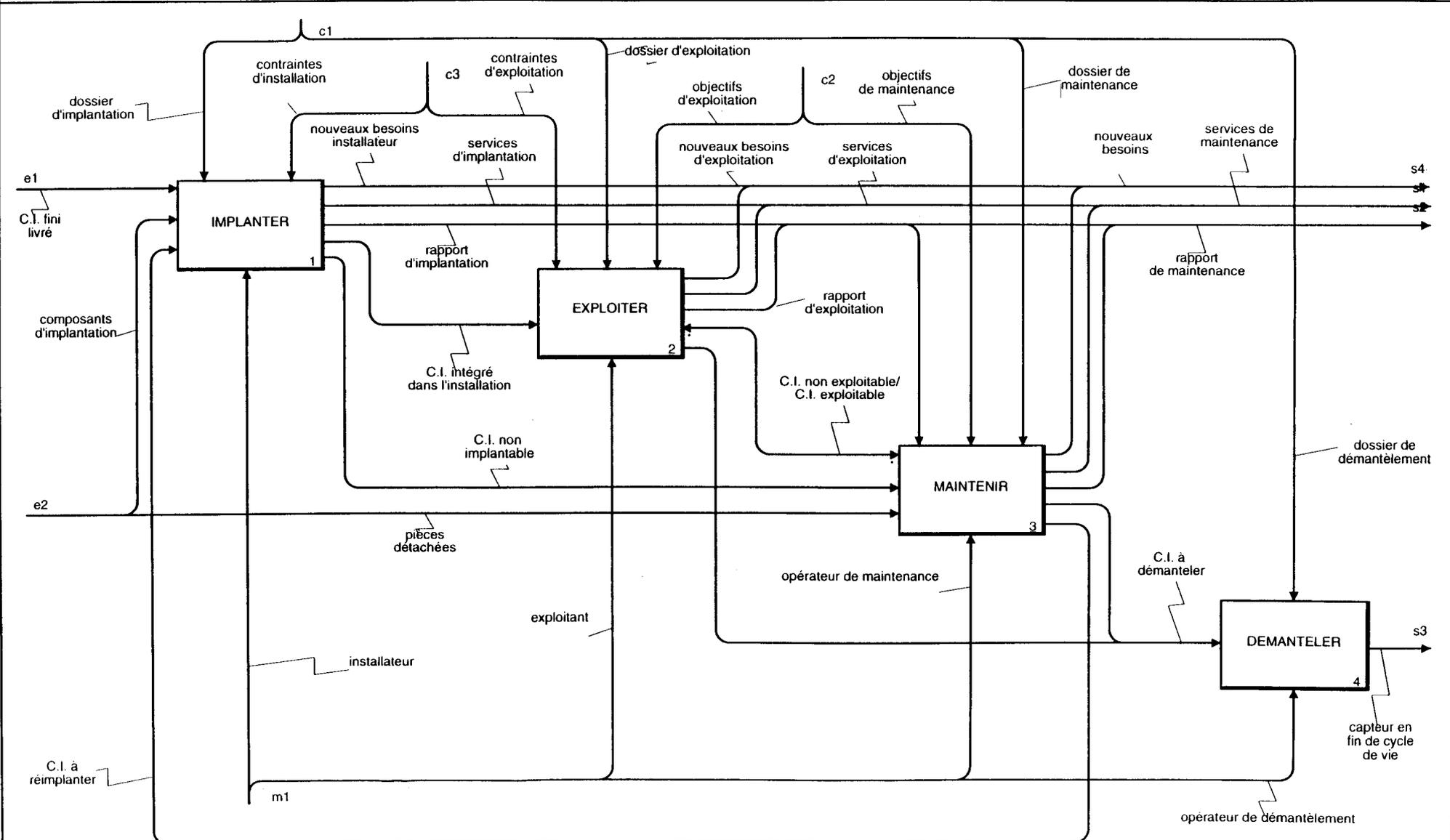




AUTEUR : A.L GEHIN  
 PROJET : CYCLE DE VIE  
 DATE : 01/12/93

LECTEURS :

CONTEXTE : FAIRE  
 VIVRE





## Conclusion de la 1ère partie

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons montré qu'il est possible d'accroître les performances d'un capteur en lui ajoutant une unité de traitement numérique et une interface de communication en entrée. En effet, l'unité de traitement numérique permet d'implanter des algorithmes de filtrage, des modèles de linéarisation, de compensation des grandeurs d'influence, d'élaboration de grandeurs virtuelles, d'autocalibration, etc.. Par ailleurs, l'interface de communication en entrée permet à l'utilisateur de communiquer des valeurs de sélection ou d'initialisation des algorithmes (par exemple : valeur de gain, valeur de température pour le choix de la courbe d'étalonnage). Les améliorations ainsi obtenues s'expriment en termes de critères métrologiques (meilleure précision, meilleure crédibilité ...), de facilité d'utilisation (grandeur de sortie directement représentative de la valeur du mesurande, étendue de mesure plus large ...), de sûreté de fonctionnement (meilleure fiabilité, durabilité augmentée ...).

Dans une deuxième étape, nous avons situé le capteur au sein d'un système automatisé de production et nous avons vu qu'il est en mesure d'accueillir une partie des fonctions du système d'exploitation temps réel du processus (R.T.P.O.S.) et ainsi d'apporter différentes aides aux utilisateurs de ses données (aides à la conduite, aides à la maintenance, aides à la gestion). Puis dans le chapitre 3, nous avons montré que les services que peut rendre le capteur ne s'inscrivent pas uniquement dans la phase d'exploitation de son cycle de vie mais qu'il peut en exister dans pratiquement toutes les phases de sa vie. Ce dernier point prend de l'importance avec le développement de la qualité totale, en particulier par la possibilité de stocker diverses informations et de contribuer ainsi à la traçabilité du produit.

L'analyse du capteur selon ces trois points de vue : capteur objet finalisé, capteur constituant d'un système automatisé de production, capteur objet industriel, nous a permis d'établir la liste des fonctions qu'il est judicieux d'y implanter de manière à satisfaire d'une façon aussi large que possible l'ensemble des besoins exprimés dans cette première partie de présentation du capteur intelligent.

Dans la seconde partie de ce mémoire, nous proposons un modèle générique de capteurs intelligents conçu à partir des résultats de cette première étape et qui se décline selon deux aspects : tout d'abord un modèle interne qui présente l'organisation des traitements, puis un modèle externe qui s'intéresse à l'organisation des services proposés aux utilisateurs.

## **2ème partie**

### **Modèles d'un capteur**

Dès le début des années 80, une première génération de capteurs dits intelligents, intégrant essentiellement des capacités de paramétrage et de communication est apparue sur le marché. Cette première génération d'instruments intelligents est caractérisée par son aspect essentiellement "propriétaire" au sens où, pour ces composants, les niveaux d'intelligence locale et les protocoles de communication étaient spécifiques à chaque constructeur. Il en résultait d'une part une grande disparité des possibilités d'autosurveillance, de validation de données, d'aides aux opérateurs et d'autre part, une intégration difficile de ces instruments dans les systèmes numériques de contrôle commande autres que ceux proposés par leurs constructeurs (Honeywell, Fuji, Rosemount ...). On comprend alors, qu'il existait de la part des utilisateurs une certaine réticence à investir dans ce genre de matériel. Il est donc rapidement apparu que la généralisation de l'installation des instruments intelligents ne pouvait se faire sans la définition de règles de conception visant à assurer une compatibilité de leurs fonctionnements et permettant ainsi de les utiliser au sein d'une même application.

On conçoit tout d'abord assez facilement que la coopération entre appareils dans une même applications mettant en oeuvre des instruments d'origine différente est liée à la définition d'une représentation et d'une manipulation communes de l'information. En effet, il semble impensable que la modification d'une installation par ajout, remplacement ou suppression d'un appareil ait pour conséquence la redéfinition du gestionnaire de communication. C'est pourquoi, outre les règles générales d'acheminement des informations numériques fixées par le modèle O.S.I. (voir paragraphe 5.2.2), une codification commune des données produites et consommées par un instrument intelligent, et des demandes d'accès aux services doit être mise en place. La définition d'un langage commun de manipulation des données et d'accès aux services est un premier pas vers l'interopérabilité et l'interchangeabilité des instruments. Cependant, il ne suffit pas que deux appareils manipulent les mêmes données et proposent les mêmes services pour qu'ils coopèrent de façon cohérente. En effet, d'une part, la réalisation

d'un même service peut reposer sur des traitements différents en interne, d'autre part, l'organisation des services peut différer d'un appareil à un autre.

C'est pourquoi, nous proposons dans cette deuxième partie de décrire le capteur intelligent selon deux aspects :

- l'analyse fonctionnelle qui offre une vue interne du fonctionnement du capteur intelligent en décrivant sur quels traitements repose la réalisation d'un service,
- le modèle externe qui décrit l'ensemble des services rendus par le capteur ainsi que leur organisation.

Les descriptions sont réalisées sur un capteur pris en dehors de tout contexte d'application particulier. Elles ont pour finalité d'apporter une contribution à la définition d'un capteur intelligent à partir de laquelle il sera possible :

- de vérifier ou d'assurer :
  - . l'interopérabilité d'un ensemble d'équipements en vérifiant la cohérence des données manipulées et l'organisation des services,
  - . l'interchangeabilité en vérifiant la présence et la conformité, dans l'équipement de remplacement, des services et des données nécessaires à l'application,
- de définir le langage d'interopérabilité, langage commun à tous les instruments.

# Chapitre 4

## Analyse fonctionnelle du capteur intelligent

### 4.1 : Introduction

Les chapitres précédents ont montré que le capteur intelligent né des nouvelles possibilités offertes par la micro-électronique, est capable de rendre des services aux utilisateurs, sur une large partie de son cycle de vie (aide à la mise en place, aide à l'implantation, aide à la conduite, aide à la maintenance, aide à la gestion technique ...). La liste de ces services a été établie à partir de l'analyse des nouveaux besoins liés au contrôle et à la commande de systèmes de production de plus en plus complexes. Cependant, pour rendre les services qu'en attendent les agents qui interviennent sur le capteur intelligent au long de son cycle de vie, celui-ci doit être doté d'un ensemble de fonctions techniques.

Dans ce sens, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser et hiérarchiser d'une part, les fonctions de service et d'autre part, les fonctions techniques [AFNOR 90].

- Les fonctions de service correspondent aux actions attendues du capteur pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné (il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin).
  
- Les fonctions techniques sont les actions internes au capteur qui permettent d'assurer les fonctions de service.

L'analyse fonctionnelle permet donc à partir de l'analyse des besoins d'aboutir à une description interne du capteur intelligent. Dans le cadre de ce mémoire, nous l'avons appliquée en vue d'obtenir un modèle générique de représentation des fonctionnalités internes d'un capteur intelligent. C'est pourquoi, nous ne nous sommes pas placés dans le cadre d'une application donnée, ni orientés vers un type particulier de capteur. Au contraire, nous avons cherché à aboutir à un modèle regroupant l'ensemble des fonctions dont seulement une partie sera implantée sur chaque capteur en fonction des besoins liés aux exigences de l'application à laquelle il est dédié.

Ainsi, l'analyse fonctionnelle permet d'aborder la première phase d'une autre analyse qu'est l'analyse de la valeur et qui permet au demandeur de déterminer si l'intérêt d'une fonction de service offerte est réel compte tenu de son coût calculé à partir du coût de l'ensemble des fonctions techniques nécessaires à sa mise en oeuvre [AFNOR 90].

L'étude a été menée, en faisant appel au formalisme S.A.D.T. (voir annexe 1), sur un capteur pris dans la phase principale de son cycle de vie : Exploiter. En effet, c'est dans cette activité, où le capteur participe pleinement à la réalisation des objectifs de production, que la totalité des fonctions peut être définie.

## **4.2 : Diagramme : Fonctionner** (planche A-0)

Le rôle primordial d'un capteur en exploitation est avant tout, rappelons le, de délivrer l'image de la valeur d'un mesurande. Cette image est élaborée par la chaîne d'acquisition en faisant appel, dans certains cas, à une transformation de l'*énergie*. D'autre part, les éléments de la chaîne d'acquisition peuvent être sensibles non seulement au mesurande, mais également à d'autres grandeurs que nous avons dénommées : grandeurs d'influence. L'ensemble, mesurande et grandeurs d'influence, constitue les *grandeurs physiques locales*. Le capteur traite les grandeurs physiques locales ainsi qu'une deuxième source d'information fournie par les opérateurs et/ou les automatismes (*messages des opérateurs ou des automatismes*) afin de satisfaire la demande de service exprimée par ces derniers sous forme de requêtes.

Le résultat des traitements appliqués sur les deux entrées informationnelles (grandeurs physiques locales et messages des opérateurs ou des automatismes) constituent une réponse aux requêtes et est transmis sous la forme de *messages vers les opérateurs ou les automatismes*. Le capteur grâce à son intelligence est capable de valider au moins partiellement son fonctionnement par l'intermédiaire des algorithmes de surveillance. Cette

validation est exprimée de deux façons. D'une part, chaque information produite peut être accompagnée d'un indice de crédibilité obtenu à partir des conditions de validation qui ont pu être testées (par exemple, une valeur est sûre à 100 % si elle est identique à deux autres redondantes, à 70 % si c'est une valeur de remplacement estimée à partir des valeurs de deux autres données, etc.). D'autre part, le signal **validation du capteur intelligent comme producteur d'information** rend compte de l'intégrité du logiciel, des éléments matériels et de la communication en sortie (autrement dit, l'information a été générée et correctement transmise par un appareil en ordre de marche).

De la même façon, les informations en provenance d'autres instruments intelligents (messages des automatismes) ou des opérateurs peuvent être accompagnées du même type de qualifieurs exprimant de quelle façon elles ont pu être produites et transmises. Ces qualifieurs (**validations des producteurs d'information**) constituent une donnée de contrôle de l'activité Fonctionner. En effet, le traitement appliqué à une information produite et transmise dans de bonnes conditions est différent de celui appliqué à une information dont le producteur n'est pas validé. D'autre part, le capteur ne peut dialoguer avec les autres constituants du système d'automatisation et les opérateurs que si les règles de communication sont parfaitement établies et respectées. Celles-ci sont formulées par l'entrée de contrôle : **paramètres et langages de communication**.

Par ailleurs, le fonctionnement global de l'activité Fonctionner nécessite que l'état des constituants internes (transducteur, conditionneur, intelligence locale ...) et externes (support de communication et interfaces locales ...) soit satisfaisant. Cet impératif est traduit par l'entrée de contrôle : **état des éléments technologiques**. Par état des éléments technologiques, nous entendons leur situation objective, réelle, qu'elle soit connue ou non. Cette donnée de contrôle est présente pour l'ensemble des activités de la décomposition puisque la réalisation de toute fonction nécessite au moins un support (en bon état) qu'il soit matériel ou logiciel. Les algorithmes de surveillance ont justement pour rôle de fournir une image de l'état des éléments technologiques. En ce qui concerne les éléments de communication externe, il est également nécessaire qu'ils soient en bon état (**état des moyens de communication**). L'image de leur état peut être élaborée par des capteurs externes spécifiques (test d'alimentation, détection d'absence de porteuse ...).

Enfin, l'activité Fonctionner nécessite en support des **matériels de communication**, des **composants** (éléments de la chaîne d'acquisition) et des **logiciels**.



### **4.3 Décomposition du diagramme Fonctionner** (planche A0)

L'activité globale d'un capteur se répartit selon deux grandes fonctions.

- D'un coté, le mesurage regroupe toutes les opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.
  
- D'un autre coté, la communication rend possible des échanges bidirectionnels entre le capteur et les utilisateurs (opérateurs, automatismes ...). Ceci conduit, en fait à deux fonctions symétriques, une associée au dialogue "extérieur vers capteur", l'autre pour le dialogue "capteur vers extérieur".

Dans ce sens, l'activité Fonctionner se décompose en trois activités de niveau inférieur :

- Interfacer en entrée,
- Mesurer,
- Interfacer en sortie.

#### **4.3.1 : L'activité : Interfacer en entrée**

La fonction Interfacer en entrée permet au capteur de recevoir des *messages des opérateurs ou des automatismes* et de les comprendre. Les informations en provenance des utilisateurs ou des automatismes peuvent être :

- des requêtes :
  - . demande de lecture d'une valeur ou d'une séquence de valeurs particulières (par exemple : date de la dernière opération de maintenance, valeur de la température à l'instant t),
  - . demande de passage dans un autre mode d'utilisation (configuration, maintenance, exécution d'une séquence d'auto test ...),
  - . etc.,
  
- des données :
  - . paramètres de configuration, de calibrage ...
  - . informations destinées à compléter un compte-rendu de maintenance (nature et durée de l'opération ...),
  - . des images des grandeurs physiques produites par d'autres capteurs répartis,
  - . etc..

Chaque information en entrée, qu'elle provienne d'un automatisme ou d'un opérateur peut être accompagnée du qualifieur *validation des producteurs d'information* rendant compte des conditions dans lesquelles elle a été produite et mise à disposition (voir paragraphe 4.4.1).

Les messages transitent par le réseau ou proviennent d'un moyen de communication local (console de terrain, interface de communication locale sur la face avant du capteur). La fonction Interfacer en entrée doit traiter les messages quelle que soit leur origine. Les messages transitant par le réseau sont dans un format ou un langage standard en vue d'assurer l'interopérabilité entre l'ensemble des abonnés. Par conséquent, ils nécessitent une interprétation, prise en charge par la fonction Interfacer en entrée, pour être compréhensibles par l'unité de traitement interne au capteur (ils sont transformés en *messages interprétés*). Il en est de même pour les messages en provenance du terminal local qui peut utiliser, par exemple, une liaison de type RS 232 pour se connecter au capteur. Par contre, les ordres en provenance de l'interface de commande locale qui agissent directement sur la fonction Mesurer (par exemple : retrait du corps d'épreuve du site de mesure, mise en contact du transducteur avec le milieu dont une caractéristique est à mesurer) sont directement exploitables et constituent à ce sens, des *commandes directes*.

Bien entendu, la fonction Interfacer en entrée nécessite en support un ensemble de *matériels de réception* et de *logiciels d'interprétation et de communication*. De même, elle ne peut être réalisée de façon satisfaisante que si les *paramètres* et les *langages de communication* sont connus et respectés.

D'autre part, l'activité Interfacer en entrée détecte les incohérences qui se produisent (par exemple : absence de porteuse, erreur de parité), ce qui lui permet de générer, en sortie, un qualifieur de *validation de la communication en entrée* qui prend également en compte les renseignements contenus dans la donnée de contrôle : *état des moyens de communication*.

### **4.3.2 : L'activité : Mesurer**

La fonction Mesurer constitue le noyau central du capteur. Elle regroupe les fonctions d'acquisition, de surveillance, d'élaboration, de mémorisation et de décision formant l'intelligence locale du capteur.

Le capteur reçoit des informations provenant des deux groupes d'entités avec lesquelles il est en relation :

- En aval, il extrait une ou plusieurs **grandeurs physiques locales** du processus afin d'en générer des images. Cette transformation peut mettre en jeu de l'**énergie**.
- En amont, il prend en compte les requêtes et les données élaborées par les opérateurs ou les automatismes.

Ces dernières lui parviennent sous la forme de **messages interprétés** sauf si elles correspondent à une **commande directe** issue de la face avant. Les messages interprétés sont en général constitués d'un code opération et d'un ou plusieurs opérandes. Le code opération indique la nature du traitement à exécuter, les opérandes indiquent sur quels éléments porte l'opération. Les commandes directes, quant à elles, sont directement exécutables. Elles ne constituent donc pas une donnée d'entrée mais une donnée de contrôle puisqu'elles agissent directement sur un élément matériel du capteur.

L'activité Mesurer prend en compte les possibilités de communication par l'intermédiaire des deux qualifieurs : **validation de la communication en entrée** et **validation de la communication en sortie**. En sortie, elle transmet à l'activité Interfacer en sortie, les images des grandeurs physiques locales, les réponses aux requêtes et d'autres données élaborées sous la forme de **messages à émettre**. Elle fournit également un qualifieur : **validation de l'intelligence locale** rendant compte du bon déroulement des fonctions de l'activité Mesurer, et un signal **d'activation de l'émission**.

La fonction Mesurer est prise en charge par un ensemble de **composants matériels** et de **logiciels**.

### **4.3.3 : L'activité : Interfacer en sortie**

La fonction Interfacer en sortie est la symétrique de la fonction Interfacer en entrée. Elle fait appel à un ensemble de **matériels d'émission** et de **logiciels de codage et de communication** pour traduire les **messages à émettre**, résultat de l'activité Mesurer en **messages vers les opérateurs ou les automatismes**. Certains messages à émettre sont directement émissibles (signaux visuels, sonores, à destination de la face avant ...) alors que d'autres nécessitent une étape préalable d'interprétation et de codage, contrôlée par les **paramètres et langages de communication**. Dans la mesure où l'émission des messages vers les opérateurs et les automatismes peut nécessiter la prise de contrôle d'un moyen de communication partagé, elle ne peut, au contraire de la réception, être active en permanence. Le signal **activation de l'émission** est donc généré par l'activité Mesurer chaque fois qu'un message est à émettre. La

fonction Interfacier en sortie, tout comme la fonction Interfacier en entrée, a la capacité de détecter certaines incohérences (par exemple : interprétation, codage ou émission impossible) et génère une donnée de **validation de la communication en sortie** qui tient compte de l'image de l'**état des moyens de communication**. Ainsi, ce qualifieur est associé à celui élaboré par l'activité Mesurer : **validation de l'intelligence locale** pour produire un qualifieur renseignant les autres abonnés de l'aptitude du capteur à accomplir ses propres traitements sur des données bien reçues, puis à communiquer les résultats obtenus. Ce qualifieur global des activités de communication et de mesurage correspond à la sortie : **validation du Capteur Intelligent comme producteur d'information**.

#### **4.4 Décomposition du diagramme Interfacier en entrée** (planche A1)

L'activité Interfacier en entrée contrôle l'ensemble de la communication, dans le sens extérieur vers capteur, que les informations proviennent de la face avant du capteur, d'un terminal local connecté par l'opérateur sur le capteur, ou du réseau.

Elle se décompose en quatre activités de niveau inférieur :

- Recevoir,
- Décoder,
- Interpréter,
- Valider en entrée.

##### **4.4.1 : L'activité : Recevoir**

Les **messages des opérateurs ou des automatismes** sont véhiculés par des signaux physiques dont les variations codent le contenu du message. La fonction Recevoir assure le lien entre les supports de communication sur lesquels circulent les signaux physiques et l'unité de traitement des signaux interne au capteur. Elle est matérialisée par les **interfaces de communication locale ou à distance**. Elle assure, par exemple, l'adaptation et l'amplification des signaux.

En sortie de l'activité Recevoir, trois types de signaux sont distingués selon les traitements qu'ils doivent subir avant d'être directement compréhensibles.

- Les **commandes directes** agissent directement sur l'un des composants du capteur.

- Les **messages à décoder** sont les messages qu'il a fallu convertir en une suite de variations d'amplitude et/ou de fréquence pour les véhiculer sur un support physique. Ils nécessitent donc la conversion inverse pour retrouver leur forme originelle afin de pouvoir en extraire la partie information.
  
- Les **messages directement interprétables** sont des messages en provenance de l'interface de commande locale (face avant), qui ne nécessitent pas de phase de traduction avant d'être interprétés mais qui contrairement aux commandes directes sont soumis au contrôle ou au traitement de l'intelligence locale avant d'être pris en compte (par exemple : demande de changement de mode, choix d'un calibre, d'un filtre).

Par ailleurs, l'activité Recevoir intègre des mécanismes permettant de détecter d'éventuelles erreurs de transmission (trame interrompue, signaux trop faibles en amplitude, mauvaise connexion, etc.). Elle élabore ainsi en sortie le signal **erreur de réception** qui sera utilisée par la fonction Valider en entrée.

L'activité Recevoir est contrôlée par deux données :

- La donnée **validations des producteurs d'information** est un qualifieur pouvant accompagner les messages reçus. Elle recouvre deux types de validation :
  - la validation d'accès qui indique si le producteur est habilité dans le contexte en cours à émettre vers le capteur intelligent. Par exemple, l'opérateur de maintenance a-t-il le droit d'intervenir, la donnée circulant sur le bus est-elle destinée au capteur ou à un autre instrument intelligent, etc.. Le message de l'opérateur ou de l'automatisme sera ou non pris en compte selon la nature de cette validation,
  - la validation globale de l'information qui indique si oui ou non le producteur de l'information est en bon état de fonctionnement. Cette validation est de la même nature que celle qui est élaborée par le capteur (**validation du capteur intelligent comme producteur d'information**) lorsqu'il émet un message vers les opérateurs ou les automatismes. Les informations relatives à cette validation conditionnent les traitements de production des images des grandeurs physiques locales et de génération des grandeurs élaborées. Dans le cas d'une information transmise par un instrument ne disposant pas des fonctions lui permettant cette validation, celle-ci pourra être considérée comme acquise par défaut.

- ❑ La donnée *caractéristiques de transmission* décrit les caractéristiques physiques des signaux transitant sur les différents supports de communication (modulation d'amplitude ou de fréquence, gamme d'amplitude ou de fréquence, repérage temporel des débuts et fins de trames ...)

#### **4.4.2 : L'activité : Décoder**

La fonction Décoder assure le décodage de la trame physique reçue. Elle convertit par exemple une suite de variations d'amplitude en un caractère. Le décodage est réalisé par le *logiciel de décodage* conformément aux règles définies par le *protocole de communication* (par exemple : nombre de bits de données, nombre de bits stop, vitesse de transmission, parité). Lorsque le décodage n'est pas satisfaisant, par exemple en raison d'un signal d'entrée trop bruité, une *erreur de décodage* est générée en sortie. Dans le cas contraire les *messages à décoder* sont transformés en *messages syntaxiquement interprétables*.

#### **4.4.3 : L'activité : Interpréter**

La fonction Interpréter produit des *messages interprétés* c'est-à-dire des messages sous la forme code opération plus opérande(s) directement compréhensibles par l'unité de traitement du capteur. Ces messages sont obtenus à partir des *messages directement interprétables* issus de l'activité Recevoir et des *messages syntaxiquement interprétables* issus de l'activité Décoder.

Le *logiciel d'interprétation* transforme selon les règles définies par le *langage d'interopérabilité* les codes standards, issus du langage commun à tous les instruments dialoguant sur un même réseau, en codes internes permettant l'activation des services. Une *erreur d'interprétation* est générée en sortie lorsque par exemple, un code standard n'est pas reconnu.

#### **4.4.4 : L'activité : Valider en entrée**

La fonction Valider en entrée génère un qualifieur rendant compte de l'état global de la communication en entrée. Ce qualifieur : *validation de la communication en entrée* est élaboré à partir du contenu des messages d'erreur (*erreur de réception, erreur de décodage, erreur d'interprétation*) rendant compte de la possibilité ou non de réaliser correctement

chaque étape du processus de traduction du message des opérateurs ou des automatismes en message interprété. La validation de la communication en entrée prend également en compte l'*état des moyens de communication* (au moyen, par exemple, de capteurs spécifiques).

## **4.5 : Décomposition du diagramme : Mesurer** (planche A2)

L'activité Mesurer prend en charge la réalisation des services demandés par les utilisateurs. Elle est décomposée en deux activités de niveau inférieur :

- Gérer l'application,
- Réaliser l'application.

### **4.5.1 : L'activité : Gérer l'application**

L'activité Gérer l'application organise les traitements réalisés par le capteur intelligent. Elle reçoit, en entrée, les requêtes présentées par les opérateurs ou les automatismes, sous la forme de *messages interprétés*. Un message interprété, rappelons le, se décompose en deux parties :

- Le code opération désigne la nature du service à rendre (par exemple : lecture, écriture). A chaque opération, l'activité Gérer l'application fait correspondre un ensemble de traitements à réaliser selon un ordre pré-défini.
- Les opérandes sont des données utilisées par les traitements (par exemple : valeur d'un paramètre de configuration, valeur et adresse de la donnée à mémoriser).

Un traitement correspondant à un service demandé ne peut être activé que si les entrées nécessaires à l'exécution du traitement sont disponibles et les ressources sur lesquelles il s'appuie sont en bon état (voir chapitre 5, paragraphe 5.4.2.2).

L'activité Gérer l'application connaît l'état de disponibilité des ressources matérielles par les entrées de contrôle suivantes :

- *validation de la communication en entrée et validation de la communication en sortie* qui rendent compte de la disponibilité des ressources de communication,

- **image de l'état du capteur intelligent** qui rend compte de la disponibilité des autres ressources matérielles (intelligence locale, transducteur, conditionneur, etc.) et est élaborée par les traitements de surveillance.

Lorsque ces deux conditions sont satisfaites et en fonction d'une stratégie d'ordonnancement utilisant des signaux d'**acquiescement** pour connaître l'instant de fin d'exécution d'une tâche, l'activité Gérer l'application génère le signal d'**activation** du traitement et transmet les **opérandes** correspondant. La réalisation du traitement est prise en charge par l'activité Réaliser l'application.

#### **4.5.2 : L'activité : Réaliser l'application**

L'activité Réaliser l'application comprend tous les traitements nécessaires pour répondre aux différentes demandes de services présentées par les opérateurs ou les automatismes. Les traitements sont activés par les signaux d'**activation** en provenance de l'activité Gérer l'application. Ils reçoivent en entrée les **opérandes** (transmis par Gérer l'application) et/ou les autres données élaborées par la fonction d'acquisition à partir des **grandeurs physiques locales** recueillies sur le processus. L'**énergie** est une entrée supplémentaire nécessaire au fonctionnement de certains **composants matériels** du capteur.

L'exécution d'un traitement se termine par l'élaboration d'un signal d'**acquiescement**. Les grandeurs de sortie générées par les traitements alimentent la base de données locale et certaines d'entre elles constituent les **messages à émettre**. Une partie des résultats des traitements de surveillance permet d'élaborer l'**image de l'état du capteur intelligent** utilisée par le module Gérer l'application. La sortie **validation de l'intelligence locale** est un qualifieur rendant compte du bon déroulement de l'exécution des traitements. Par ailleurs, la donnée de contrôle **commande directe** permet, nous l'avons vu, d'obtenir des services ne nécessitant pas le contrôle de l'intelligence locale.

#### **4.5.3 : Décomposition du diagramme : Gérer l'application** (planche A21)

L'activité Gérer l'application décide de l'activation des traitements en fonction des ressources disponibles et de ce que souhaite l'utilisateur. Elle se décompose en deux activités de niveau inférieur :

- Gérer les modes de marche,
- Gérer les activités.

### **4.5.3.1 : Gérer les modes de marche**

L'activité Gérer les modes de marche détermine la *liste des services disponibles* en fonction des ressources disponibles et du *mode d'utilisation souhaité*. Les ressources disponibles rendent compte de l'état de fonctionnement du capteur. Elles sont connues à partir des trois données de contrôle : *validation de la communication en entrée, validation de la communication en sortie, image de l'état du capteur intelligent*. D'autre part, à chaque mode d'utilisation correspond un ensemble de services. Par exemple, en mode configuration, les services demandés peuvent être : la lecture d'une partie de la base de données, la modification de certains paramètres avec vérification de leur nouvelle valeur et la vérification du code accès de l'opérateur). Chaque service nécessite des ressources dont certaines sont indispensables. Par conséquent, pour un mode d'utilisation donné, les services qui y sont associés ne sont intégrés à la liste des services disponibles que si pour chacun d'eux les ressources indispensables sont présentes.

### **4.5.3.2 : Gérer les activités**

L'activité Gérer les activités se charge de l'activation des différents traitements en fonction de la demande de l'utilisateur (*messages interprétés*) et de la *liste des services disponibles*.

Plusieurs cas peuvent se produire :

- 1 : La requête reçue correspond à un service appartenant à la liste des services disponibles. Le service est activé et le moment de son exécution (voir chapitre 5, paragraphe 5.4.3) dépend de la façon dont le concepteur a défini l'ordonnancement des traitements (interruption, temps partagé, premier demandé, premier servi, etc..). L'affectation du processeur à une tâche est régie par les signaux d'*acquiescement* et d'*activation*.
- 2 : Le service correspondant à la requête reçue n'est pas disponible dans le mode de marche courant. Le module Gérer les activités active alors les traitements destinés à signaler cet état de fait. Dans ce cas, les opérandes transmis sont ceux correspondant aux différents messages d'erreur.

Par ailleurs, on remarquera que le *mode d'utilisation souhaité* est une sortie de l'activité Gérer les activités puisqu'il n'est rien d'autre que l'opérande d'une requête de changement de mode.

#### **4.5.4 : Décomposition du diagramme : Réaliser l'application**

(planche A22)

La décomposition de l'activité Réaliser l'application fait apparaître deux fonctions :

- Acquérir,
- Traiter.

##### **4.5.4.1 : L'activité : Acquérir**

L'activité Acquérir prend en charge l'acquisition des *grandeurs physiques locales* du processus qu'elle transforme en *images des grandeurs physiques locales*. Cette transformation peut demander la mise en jeu d'une forme d'*énergie* (par exemple, dans le cas de la pyrométrie optique). Certains traitements liés à l'acquisition (par exemple : filtrage numérique, conversion analogique numérique, transformée de Fourier) ne peuvent être exécutés en permanence. Par conséquent, leur début d'exécution est déclenché par le signal d'*activation* et ils se terminent par l'élaboration d'une donnée *acquiescement*. Les *commandes directes* permettent d'agir directement sur l'un des composants de la chaîne d'acquisition (par exemple : mise en contact du corps d'épreuve avec le milieu dont une caractéristique est à évaluer).

##### **4.5.4.2 : L'activité : Traiter**

L'activité Traiter regroupe l'ensemble des fonctions permettant d'élaborer des informations intelligemment. Elle reçoit en entrée des informations décrivant l'ensemble du système dans lequel le capteur est inséré. En effet, l'activité Acquérir produit les *images des grandeurs physiques locales* et le module Interfacer en entrée transmet les *opérandes*, qui peuvent être des images des grandeurs distantes. Sur ces entrées, sont appliqués différents traitements sélectionnés par la donnée de contrôle : *activation*. Les signaux de sortie *acquiescement* sont générés pour gérer l'enchaînement de l'exécution des différentes fonctions. Les informations élaborées par l'activité Traiter sont transmises aux utilisateurs sous la forme de *messages à émettre*. Les données issues des procédures d'auto-test appliquées à la partie traitement (alimentation, mémoires, ports d'entrée-sortie, processeur ...) sont regroupées sous la sortie *validation de l'intelligence locale* qui fait partie de l'*image de l'état du capteur intelligent*, résultat des procédures de surveillance appliquées à l'ensemble des composants matériels constituant le capteur.

#### **4.5.5 : Décomposition du diagramme Acquérir** (planche A221)

La décomposition du diagramme Acquérir fait apparaître les différentes fonctions d'élaboration et de traitement du signal prises en charge par les éléments de la chaîne d'acquisition. L'ensemble de ces fonctions a été détaillé au chapitre 1. Nous les avons regroupées à ce niveau sous deux activités :

- Générer les signaux,
- Mettre en forme.

##### **4.5.5.1 : L'activité : Générer les signaux**

Cette activité est prise en charge par l'*unité de transduction* dont le rôle est de traduire l'énergie propre à une ou plusieurs grandeurs physiques en une autre forme d'énergie plus facilement exploitable. Dans certains cas, l'unité de transduction est capable d'isoler plusieurs grandeurs physiques. Elle est alors équivalente à un ensemble de transducteurs. Dans d'autres cas, l'unité de transduction est seulement capable d'isoler une forme d'énergie principale relative au mesurande, influencée par des grandeurs secondaires. D'autre part, le fonctionnement de certains transducteurs nécessite un apport d'*énergie* pour traduire les *grandeurs physiques locales* en *signaux physiques images des grandeurs*. Les *commandes directes* permettent d'agir directement sur l'unité de transduction.

##### **4.5.5.2 : L'activité : Mettre en forme**

Cette activité réalise sur les signaux, images des grandeurs générées par l'unité de transduction, un premier groupe de traitements de mise en forme de l'information. En particulier, elle effectue les opérations d'adaptation, de filtrage, de protection, de numérisation décrites au chapitre 1. Les traitements numériques (numérisation, lissage, etc.) débutent sur le signal *activation* et se terminent par la génération du signal *acquiescement*. L'activité Mettre en forme produit en sortie des *images des grandeurs physiques locales* sous un format utilisable par les traitements de validation, d'élaboration de données, etc.

#### **4.5.6 : Décomposition du diagramme : Traiter** (planche A222)

L'activité Traiter ajoute, à l'élaboration des grandeurs principales, les fonctions de surveillance, d'élaboration d'informations et de gestion de la base de données auparavant réalisées au niveau du système d'automatisation.

#### **4.5.6.1 : L'activité : Elaborer les grandeurs principales**

Le rôle de cette fonction est d'extraire, à partir des signaux issus du module Acquérir l'information relative à la (les) valeur(s) du (des) mesurande(s). L'isolation des *images des grandeurs principales* est obtenue à partir de *modèles* dont les deux entrées sont : les *images des grandeurs locales* et les *informations élaborées* générées à partir des opérands validés par le module Surveiller. Les opérands représentent par exemple, les valeurs des grandeurs d'influence. Ils proviennent des opérateurs ou d'autres instruments intelligents.

#### **4.5.6.2 : L'activité : Surveiller**

L'activité Surveiller a pour rôle de valider les données traitées par le capteur intelligent. Les données à valider sont soit *les images des grandeurs principales* issues du module Acquérir, soit les *opérands* en provenance du module Interfacer en entrée et qui correspondent à des données produites par les opérateurs ou les automatismes. Les algorithmes de surveillance ont pour rôle de détecter les données erronées, d'isoler leur producteur et éventuellement de diagnostiquer la cause d'erreur. Ils reposent soit sur l'utilisation de modèles (comparaison à des seuils, technique de l'espace de parité, estimateur d'état, etc.) soit sur des techniques de reconnaissance de formes lorsqu'aucun modèle n'existe (*méthodes de surveillance*) [SAUT 91], [JAUM 93].

Les *données* dont la cohérence a été prouvée sont dites *validées*. Elles pourront être utilisées par le module Générer des informations pour en élaborer d'autres non directement accessibles. Ces dernières, appelées *informations élaborées* constituent également une entrée du module Surveiller puisqu'elles peuvent participer aux tests de cohérence (par exemple : grandeur estimée). Par ailleurs, un sous-ensemble des données validées constitue *l'image de l'état du capteur intelligent* rendant compte de la disponibilité des ressources matérielles, des défauts constatés et des diagnostics.

#### **4.5.6.3 : L'activité : Générer des informations**

L'activité Générer des informations utilise l'ensemble des *données validées* pour générer d'autres données non directement accessibles.

Une première catégorie d'*informations élaborées* est de type capteur virtuel. Les données générées sont dans ce cas le résultat d'algorithmes qui produisent à partir de grandeurs accessibles à la mesure des grandeurs non directement mesurables (par exemple, calcul de volume à partir d'une grandeur de débit calculée à partir de mesures de pression [LOGI b 93]).

On peut citer comme autre exemple de grandeur virtuelle, les grandeurs estimées de remplacement lorsque la mesure d'un capteur a été détectée fautive par le module Surveiller. Entrent également dans la catégorie des capteurs virtuels, les résultats de calculs tels que le moyennage sur N grandeurs, l'isolation de la valeur maximale sur une fenêtre temporelle de longueur donnée, etc..

D'autres informations telles que les historiques, la mise à jour des données de sûreté de fonctionnement, la gestion de compteurs temporels peuvent être élaborées par cette activité. Par ailleurs, l'activité Générer des informations doit également prendre en charge la datation de toutes les informations validées afin de tester à plus haut niveau les exigences de cohérence temporelle. L'élaboration d'informations fait appel à des *modèles d'élaboration d'information* dont les *paramètres* sont mémorisés en base de données lors de la phase de configuration.

#### **4.5.6.4 : L'activité : Gérer la base de données locale**

La base de données locale inclut naturellement tous les *paramètres* nécessaires aux traitements d'élaboration des grandeurs principales, de surveillance et de génération des informations. Leur mémorisation s'effectue dans le mode d'utilisation Configuration, en réponse à une requête d'écriture. Les valeurs des paramètres constituent alors la partie *opérande* de cette requête. Par ailleurs, l'ensemble des *données validées* et des *informations élaborées* y est mémorisé pour pouvoir être restitué aux utilisateurs sous la forme de *messages à émettre*.

### **4.6 : Décomposition du diagramme : Interfacer en sortie** (planche A3)

L'activité Interfacer en sortie gère la communication dans le sens capteur vers extérieur. Tout comme pour l'activité Interfacer en entrée, les supports de communication peuvent être le réseau de terrain, un terminal local ou la face avant du capteur. L'activité Interfacer en sortie fait apparaître quatre activités de niveau inférieur :

- Interpréter,
- Coder,
- Emettre,
- Valider en sortie.

### **4.6.1 : L'activité : Interpréter**

Les informations élaborées par le capteur sont destinées à être consommées par les opérateurs ou les automatismes. Lorsqu'elles empruntent le réseau de terrain comme support de communication, elles doivent être traduites du langage constructeur utilisé par les organes de traitements internes au capteur, dans le langage commun à l'ensemble des abonnés du réseau. La traduction est faite selon les règles définies par le *langage d'interopérabilité*. Lorsque celle-ci n'est pas possible, elle donne naissance à une *erreur d'interprétation* sinon les *messages à traduire* deviennent des *messages à coder*. Le support de cette activité est le *logiciel d'interprétation*.

### **4.6.2 : L'activité : Coder**

L'activité Coder réalise le codage de l'information à émettre à partir duquel les trames pourront être émises. Par exemple, dans le cas de la transmission série chaque caractère d'une information est converti en suite de '0' et de '1'. Les *messages à coder* deviennent ainsi des *trames à émettre* dont le format (mots de synchronisation, codes de redondance, etc.) est défini par la donnée de contrôle : *format de transmission*. Lorsque le codage n'est pas possible une erreur est générée (*erreur de codage*).

### **4.6.3 : L'activité : Emettre**

L'activité Emettre, sous le contrôle du signal d'*activation de l'émission*, génère les signaux physiques qui correspondent aux *trames à émettre* ou aux *messages directement émissibles* qui n'ont pas nécessité de phase d'interprétation et de codage (par exemple, messages lumineux et sonores à destination de la face avant). L'émission du message est faite selon les règles définies par le *protocole de communication* (entre autre : vitesse de transmission). Lorsque l'émission n'est pas possible (par exemple : rupture de ligne, émetteur non reconnu) une *erreur d'émission* est générée en sortie. L'ensemble des informations émises constituent les *messages vers les opérateurs ou les automatismes*. Les supports de cette activité sont le *logiciel d'émission* et les *interfaces de communication locale ou à distance*.

#### **4.6.4 : L'activité : Valider en sortie**

L'activité Valider en sortie élabore, en traitant l'ensemble des *erreurs* qui ont pu être détectées au cours des phases *d'interprétation*, de *codage* et *d'émission* et compte tenu de l'*état des supports de communication*, un qualifieur de *validation de la communication en sortie*. En associant ce qualifieur à celui de l'activité Mesurer qui rend compte de l'intégrité du logiciel (*validation de l'intelligence locale*), on obtient le qualifieur *validation du capteur intelligent comme producteur d'information* qui indique aux consommateurs des données produites, qu'elles ont été générées et émises dans de bonnes conditions.

### **4.7 Conclusion**

La méthode d'analyse fonctionnelle S.A.D.T. a permis de compléter la structure fonctionnelle du capteur intelligent déjà élaborée à partir de celle du R.T.P.O.S. au chapitre 2. Ainsi, on y retrouve le système d'information à travers les fonctions Acquérir, Surveiller, Générer des informations et Gérer la base de données, le système de décision à travers les fonctions Gérer les modes de marche et Gérer les activités, le système de communication à travers les fonctions Interfacer en entrée et Interfacer en sortie.

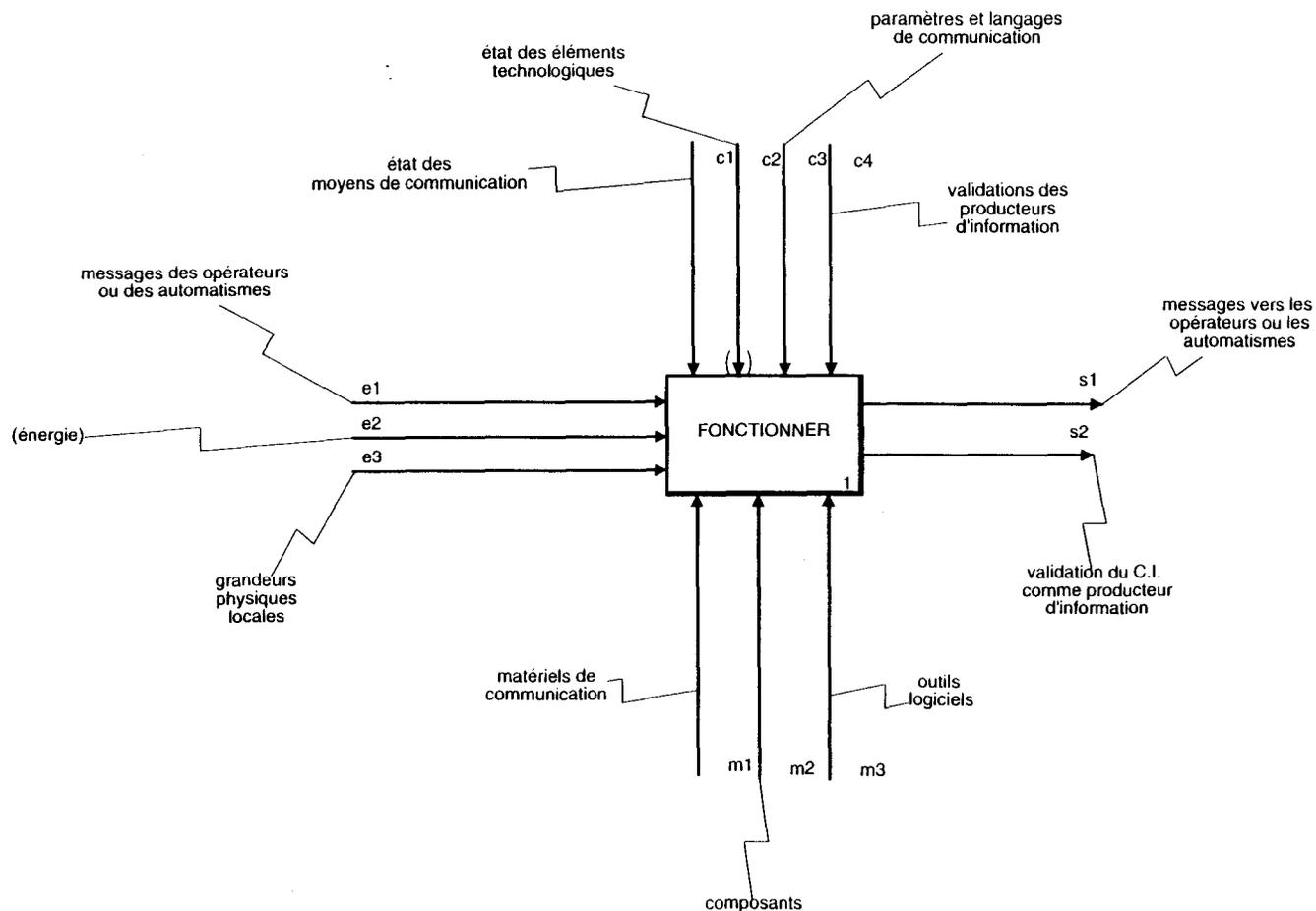
L'analyse fonctionnelle présentée ici permet d'avoir une vue globale de l'organisation interne des traitements puisqu'elle met clairement en évidence les données de contrôle, d'entrée et de sortie ainsi que les ressources matérielles et logicielles nécessaires. Elle fournit un modèle interne du capteur intelligent en décrivant "ce qu'il fait lorsqu'il fonctionne". Par ailleurs, il est évident que la décomposition hiérarchique présentée dans ce mémoire peut être poussée plus loin encore. Par exemple, la fonction Surveiller, peut être décomposée en Détecter, Isoler et Diagnostiquer. Un tel processus de décomposition doit permettre d'arriver au niveau des fonctions élémentaires directement implémentables. On obtient alors un véritable outil d'aide à la conception d'un capteur intelligent.

L'autre intérêt de cette décomposition est de fournir un modèle générique de représentation fonctionnelle du capteur intelligent. En effet, le modèle obtenu semble suffisamment général pour qu'il puisse servir de référence à la conception de n'importe quel capteur réel en sachant bien que selon les cas certaines fonctions pourront être absentes, les autres ainsi que leurs données associées faisant l'objet d'une description dépendant du domaine technologique dans lequel se situe le capteur.

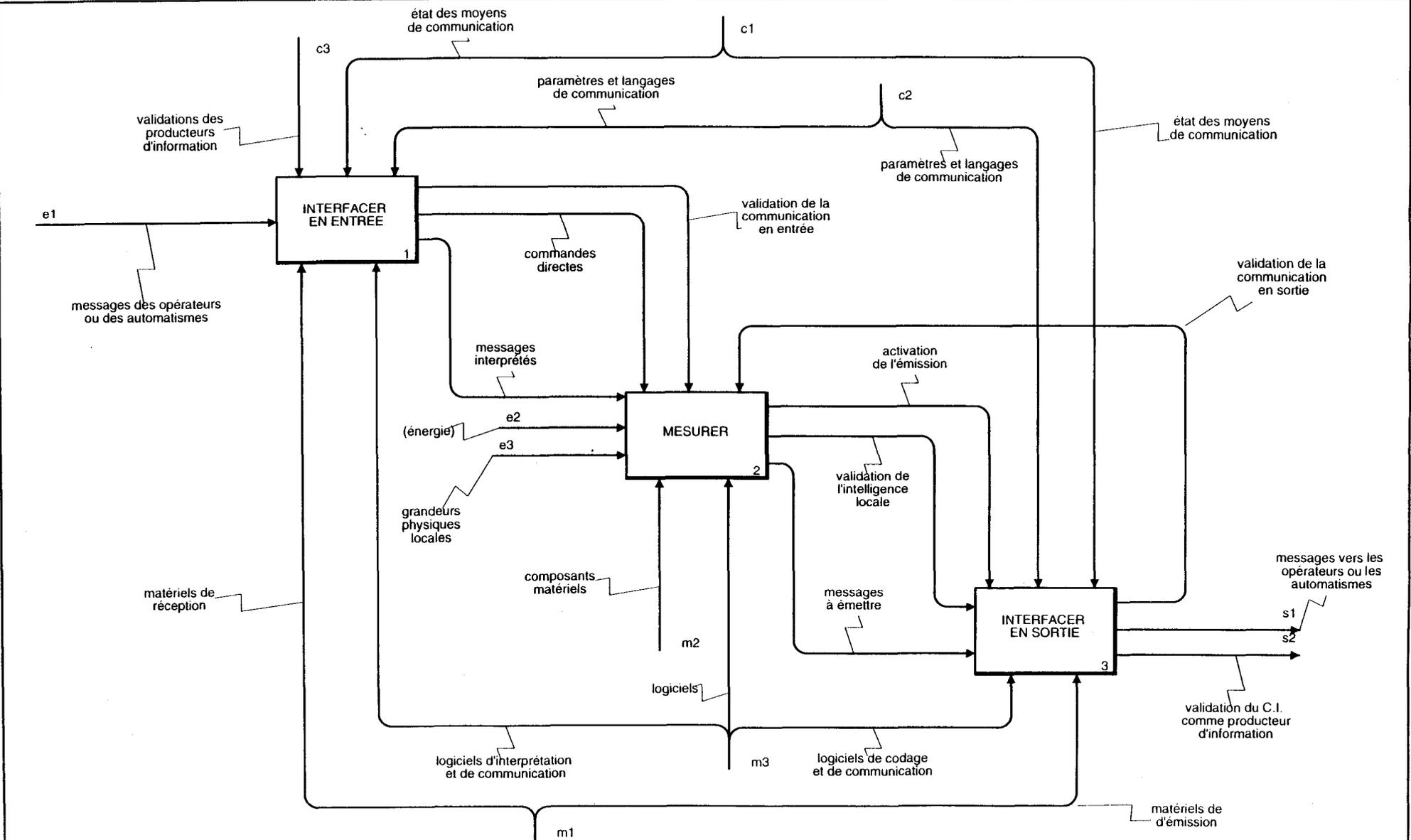
Par ailleurs, des travaux parallèles effectués sur l'actionneur intelligent [GEHI 91], [BAYA 92], [STAR 94] montrent que le modèle générique obtenu présente bon nombre de fonctions similaires à celui développé pour le capteur intelligent. C'est pourquoi, à terme, il doit être possible d'aboutir à un modèle générique d'instrument intelligent permettant de décrire aussi bien un capteur, qu'un actionneur, qu'un microsysteme rassemblant capteurs et actionneurs, etc. [BAYA 93]. Sur ce principe et afin de tester la validité du modèle développé, nous l'avons appliqué dans le chapitre 6 à une structure multicapteur dédiée à la surveillance de l'anesthésie où l'instrument intelligent considéré n'est plus un capteur unique mais un ensemble de capteurs.

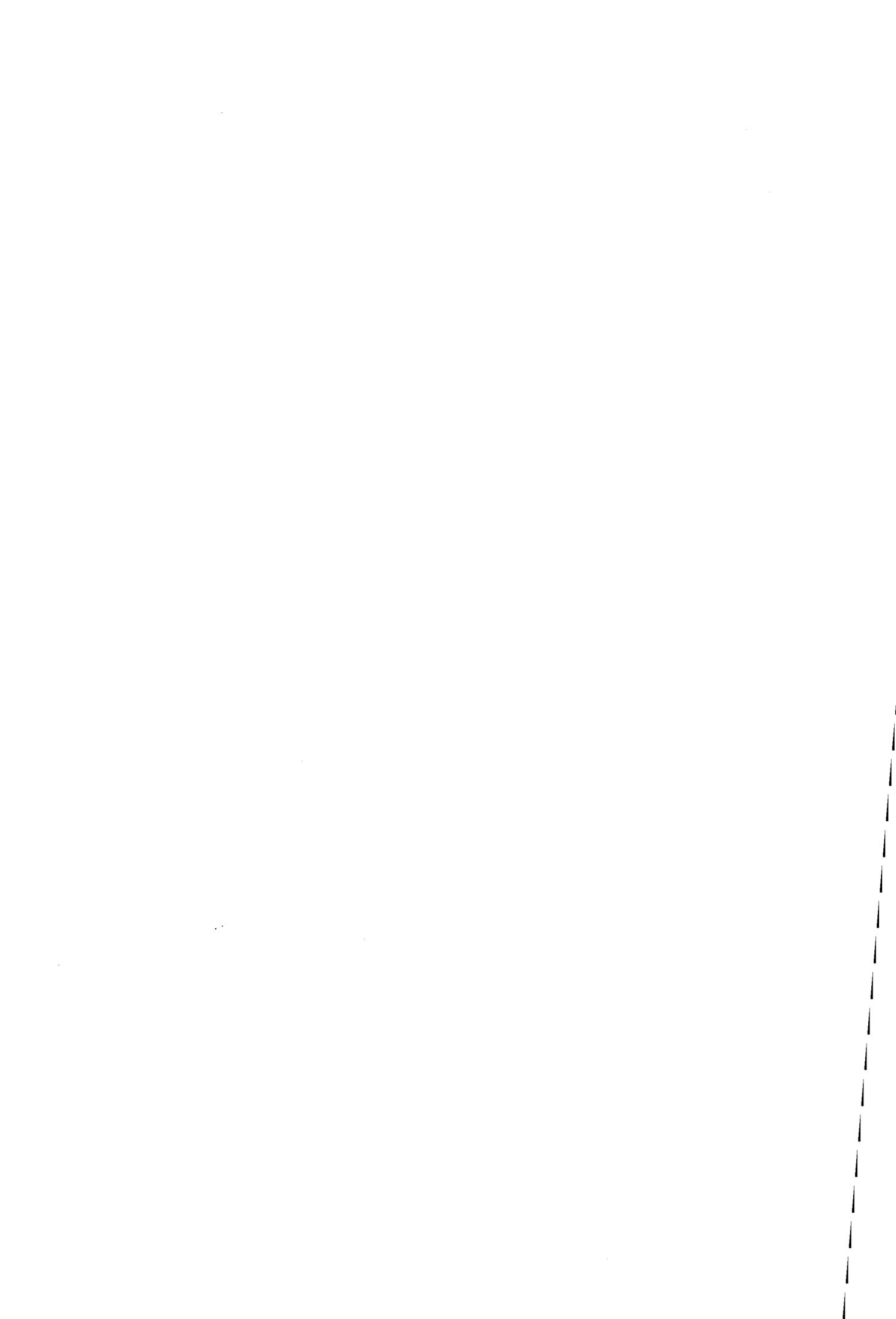
De telles descriptions génériques présentent un apport certain dans les phases de spécification, de qualification et d'analyse de la valeur. Elles permettent au demandeur de mieux formuler son besoin et au fournisseur de satisfaire au mieux la demande. Toutefois, elles ne sont pas suffisantes pour la mise en oeuvre d'un instrument intelligent. Elles doivent être complétées par d'autres modèles de représentation. En particulier les formalismes dits "temps réels" type Grafset, Réseau de Pétri [DAVI 89], Statechart [HARE 87] sont bien adaptés à la représentation de la gestion des modes de marche et à la gestion des activités. De même, les architectures distribuées ne seront adoptées que s'il existe un réel langage d'interopérabilité. Ceci nécessite la définition et le respect de la part de tous les constructeurs, d'un modèle de représentation externe du capteur intelligent, voire d'un instrument intelligent en général. C'est ce problème qui est abordé dans le chapitre suivant.

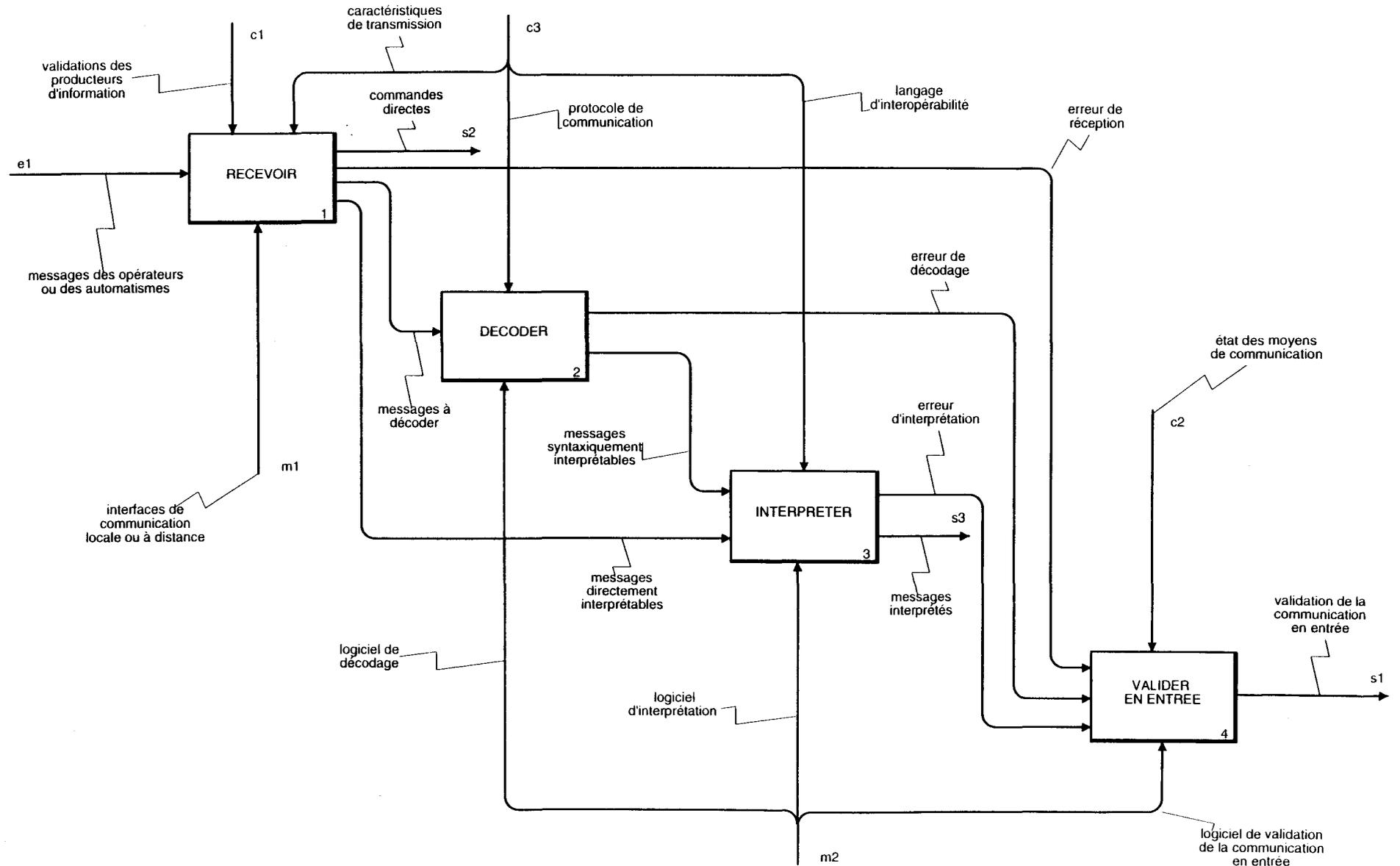




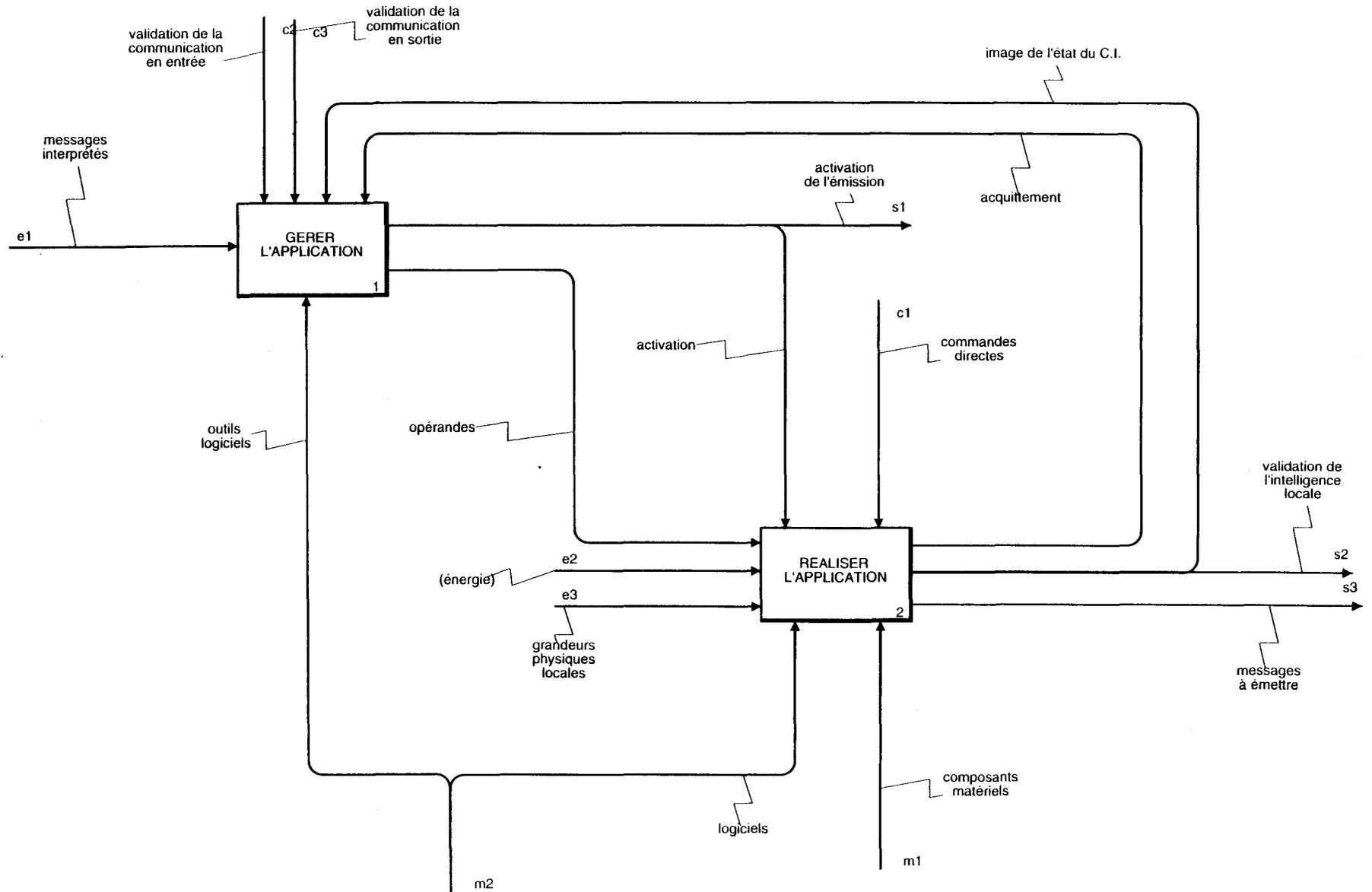




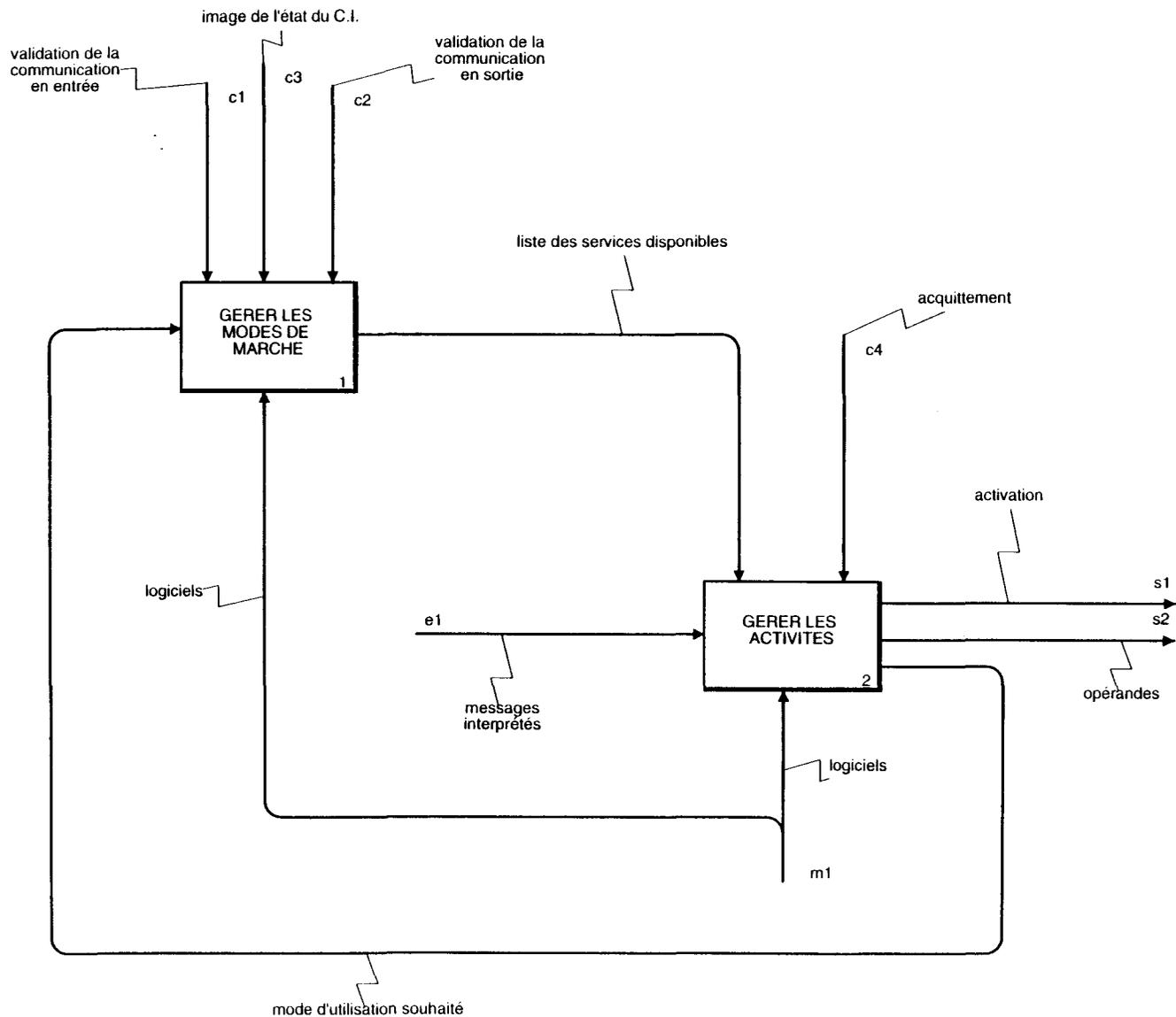




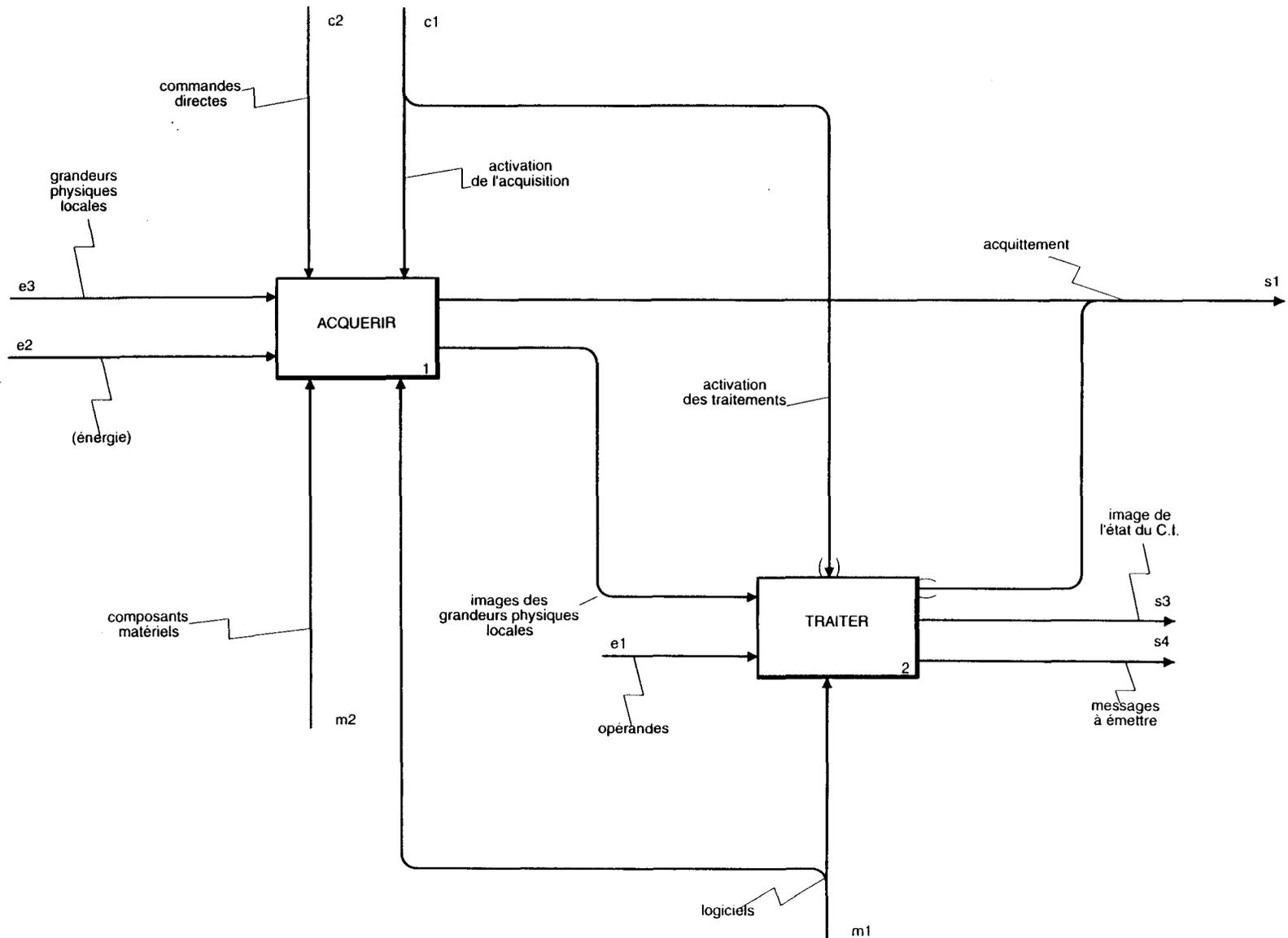




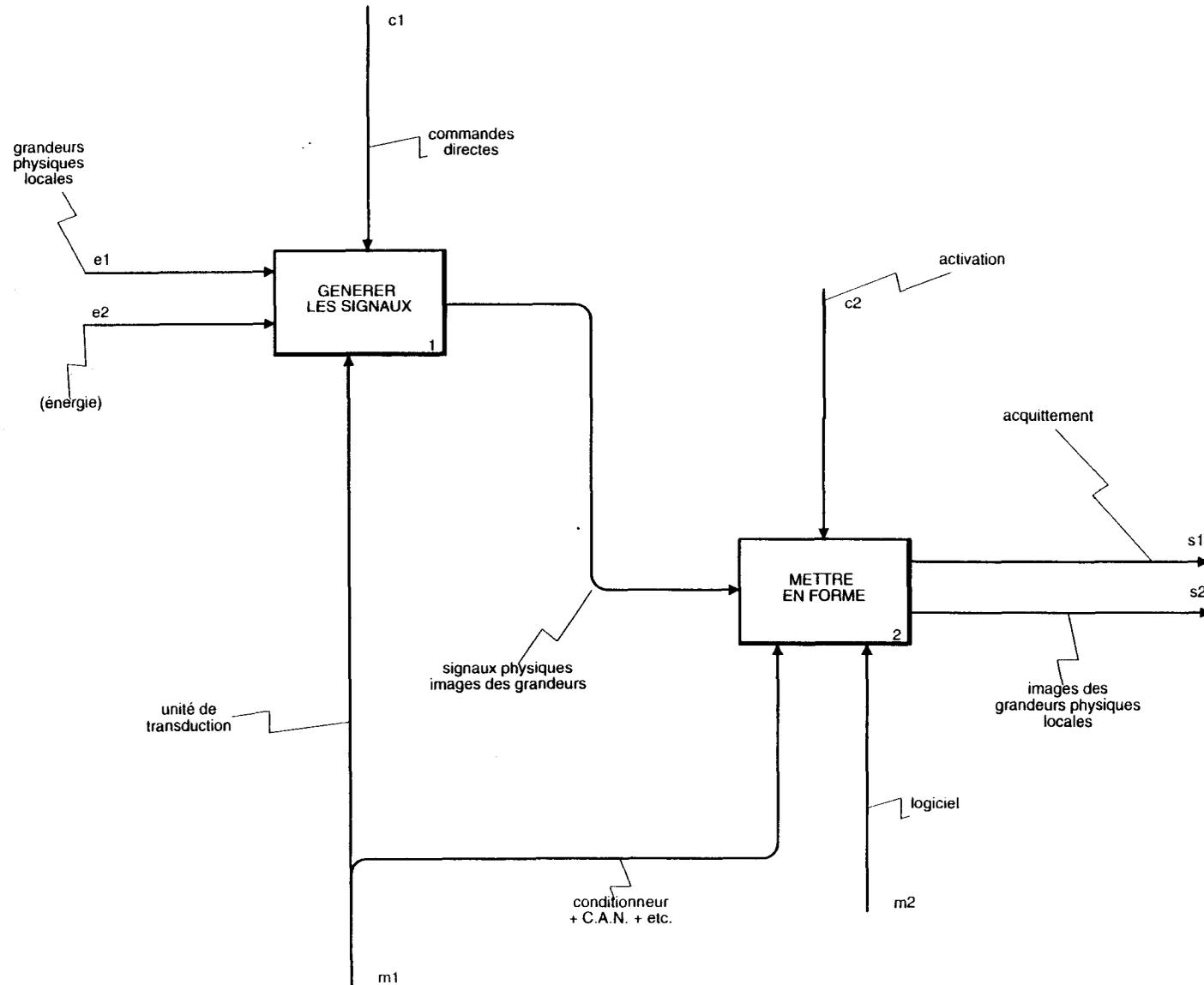




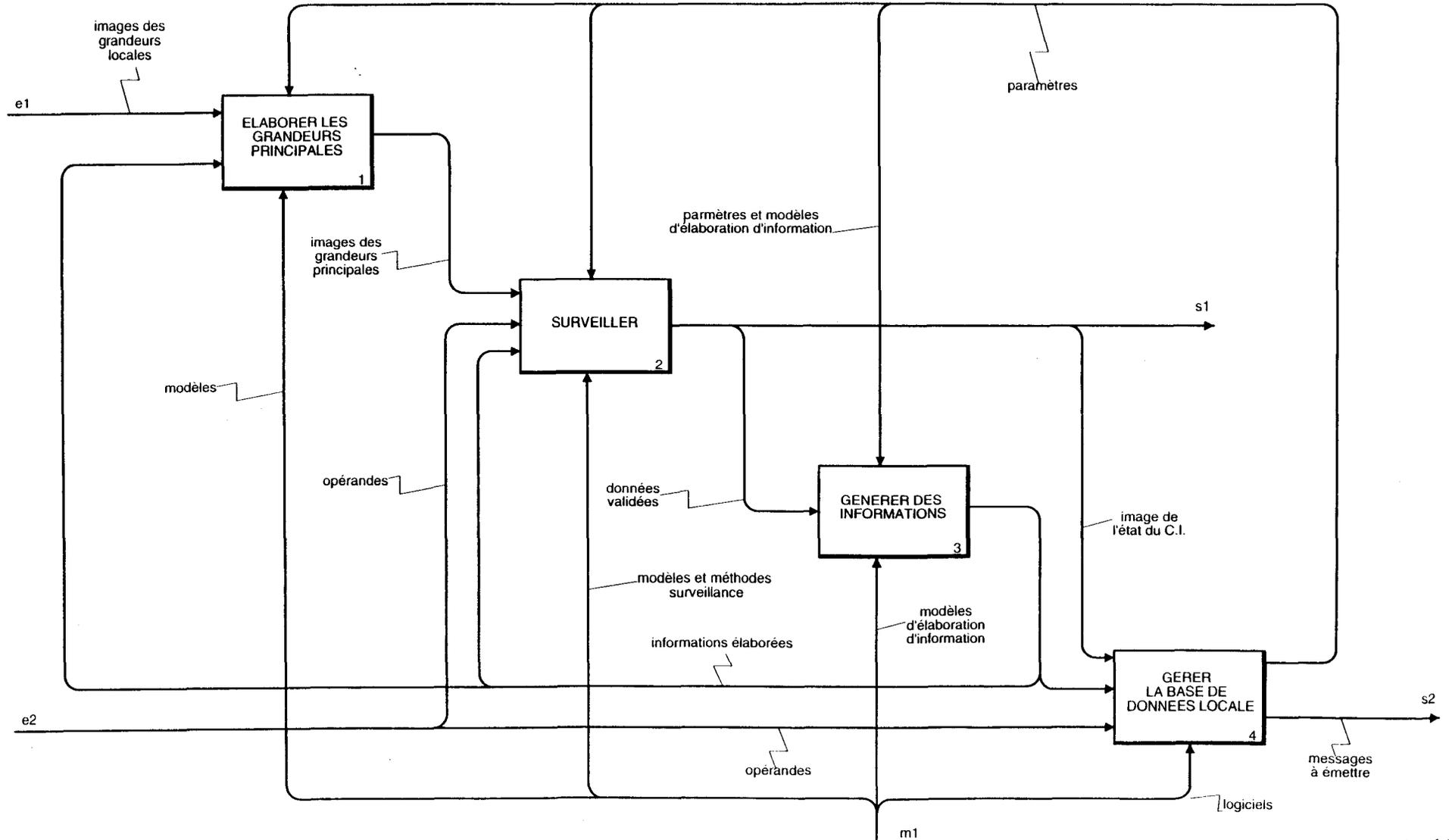




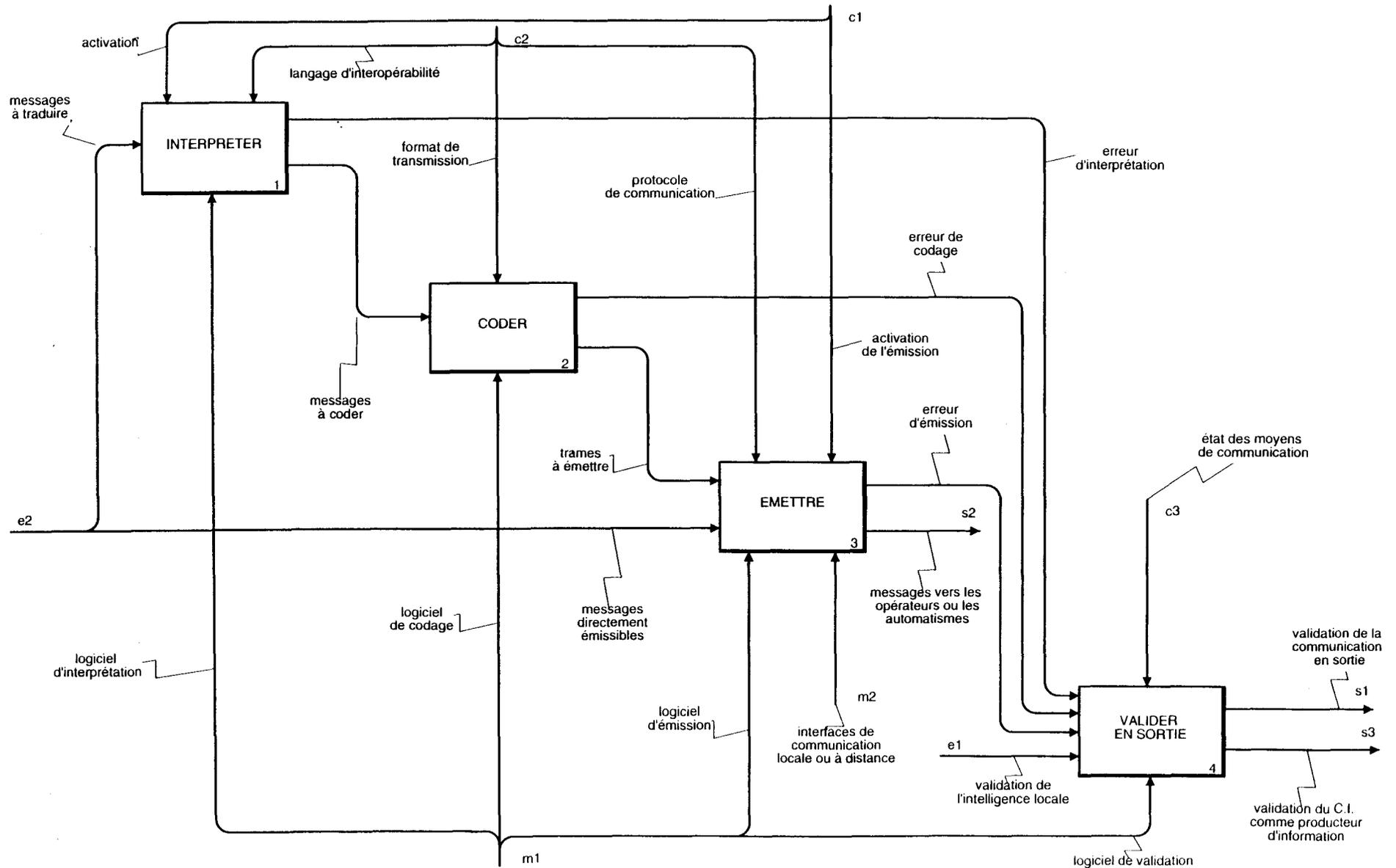














## Chapitre 5

# Modèle externe d'un capteur

### 5.1 : Introduction

Le modèle interne présenté chapitre 4 décrit les fonctions que doit intégrer le capteur pour réaliser les services qu'en attendent les utilisateurs. Il définit la nature et la structure des traitements implantés. Il s'adresse donc plus particulièrement au concepteur. L'utilisateur quant à lui, se préoccupe peu de savoir comment les traitements sont réalisés. Ce qu'il veut avant tout c'est pouvoir accéder facilement à un service, et plus généralement son problème est de savoir ce qu'il peut obtenir du capteur et comment il doit s'y prendre pour y parvenir.

Ces questions se posent naturellement pour l'ensemble des instruments intelligents et il est évident qu'il ne peut y avoir une réponse par capteur ou par actionneur. Pour homogénéiser l'utilisation des instruments intelligents, un certain nombre de travaux ont vu le jour. Basés sur la communication pour certains, sur l'application pour d'autres, ce sont des premiers pas vers l'interopérabilité, propriété qui garantit qu'une coopération est possible entre instruments de constructeurs différents.

Dans ce chapitre, après une présentation du système de communication, nous détaillerons une approche basée sur un langage de description, puis les travaux orientés vers la définition de blocs exécutifs. Enfin, nous décrirons le modèle externe que nous avons défini et qui complète ces deux approches.

## **5.2 : Le système de communication**

### **5.2.1 : Les informations échangées**

Nous avons vu que, tout au long de son cycle de vie, le capteur faisait intervenir des opérateurs de métiers différents. Les principaux intervenants sont:

- le concepteur,
- le constructeur,
- le distributeur,
- l'installateur,
- les exploitants
  - . opérateur de conduite,
  - . opérateur de maintenance,
  - . opérateur de gestion technique,
  - . ...
- le service après vente,
- le service de démantèlement.

La majeure partie de ces utilisateurs peut bénéficier de services rendus par le capteur intelligent (voir chapitre 3).

Les échanges de données entre le capteur et les différents opérateurs peuvent se réaliser via trois moyens de communication :

- la face avant du capteur,
- une console locale (type terminal de poche),
- un superviseur qui permet de contrôler le capteur à distance. Le support de communication peut être une liaison point à point mais une solution de type réseau est plus adéquate dès lors que le nombre d'instruments à relier à l'unité de supervision est important:

Par ailleurs, grâce aux nouvelles fonctions de traitement de l'information, de communication et de mémorisation, les instruments intelligents (capteurs et actionneurs) sont en mesure d'accueillir une partie des traitements auparavant réalisés au sein du système d'automatisation. Ceci implique que les échanges de données ne se font plus uniquement entre instruments et opérateurs via l'unité centrale de traitements mais qu'il existe également maintenant un échange de messages directement entre instruments intelligents. Ces échanges nécessitent une liaison directe entre appareils. Les réseaux de terrain sont bien adaptés à ces échanges d'informations entre composants.

Nous dressons ci-dessous les listes des données qui peuvent être consommées et produites par un capteur intelligent. Ces listes restent générales, c'est-à-dire que chaque capteur en fonction des services qu'il intègre, produit et consomme un sous-ensemble des données citées.

### **5.2.1.1 : Les données consommées par le capteur**

D'une façon générale, une information consommée par le capteur est constituée :

- d'un identifieur (par exemple : P1 pour une mesure de pression réalisée par un autre capteur),
- de la valeur de la donnée consommée.

Certaines données en fonction des algorithmes de surveillance implantés peuvent également être accompagnées :

- d'un indice de la crédibilité estimée à partir des niveaux de validation vérifiés par la donnée,
- d'un qualifieur rendant compte des conditions de production et de communication de la donnée.

Les données consommées peuvent être :

- l'adresse physique du capteur pour qu'il puisse être reconnu comme producteur d'information,
- le code d'accès et l'identification détaillée de chaque opérateur (nom, fonction, date et heure de début et de fin d'utilisation ...),
- des données d'identification de l'instrument
  - . numéro de série,
  - . référence constructeur,
  - . date de fabrication,
  - . date de première mise en service,
  - . etc.,
- des caractéristiques d'utilisation
  - . lois de linéarisation,
  - . lois de correction en fonction des grandeurs d'influence,
  - . valeurs limites de zone de non-détérioration,
  - . étendues de mesure,
  - . calibre, unités,
  - . etc.,
- des paramètres de surveillance
  - . seuils d'alarme,

- . paramètres des modèles de validation,
- . temps de réponse maximum autorisé,
- . etc.,
- des paramètres d'archivage
  - . liste des informations à archiver,
  - . longueur des traces d'archivage,
  - . fréquence d'archivage,
  - . etc.,
- des paramètres d'étalonnage,
- des initialisations,
  - . date,
  - . heure,
  - . compteurs d'événement, compteurs temporels,
- des signaux
  - . de synchronisation,
  - . de déclenchement de mesure,
- des informations de type compte rendu,
- des demandes
  - . de lecture,
  - . d'écriture,
  - . de mesures,
  - . de tests et simulations,
  - . etc.,
- des grandeurs mesurées par d'autres capteurs et qui participent à l'évaluation des grandeurs d'influence, à la validation, à l'élaboration des grandeurs virtuelles, etc.

### **5.2.1.2 : Les données produites par le capteur**

Une information produite par le capteur est construite sur un modèle analogue à celui d'une information consommée. Elle est donc constituée des champs : identifieur et valeur, et éventuellement des champs : indice de crédibilité, qualifieur.

Bien entendu, la liste des identifieurs des données produites et des données consommées par le capteur fait partie des données consommées par le capteur lors de sa phase de mise en service sur site. Les données produites par le capteur sont :

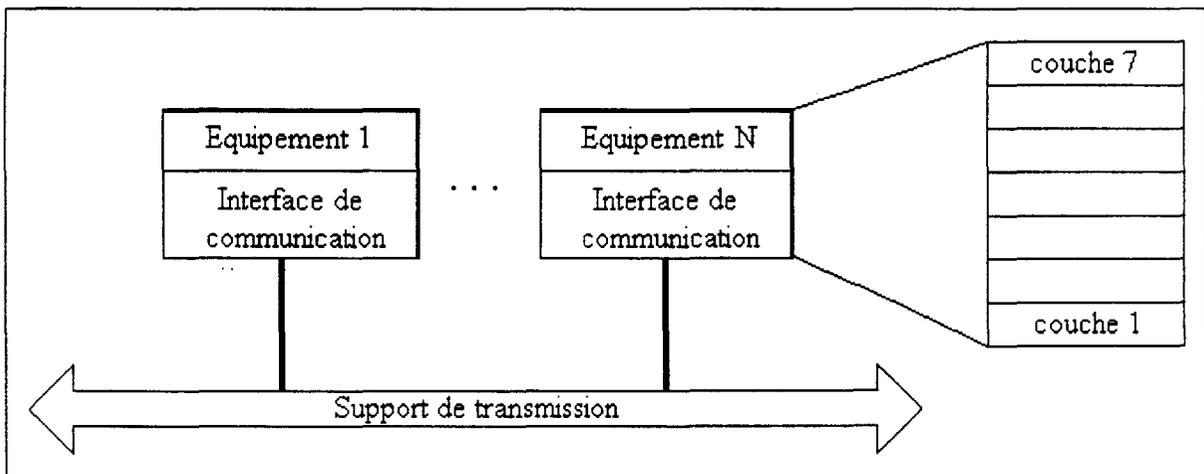
- les images des grandeurs mesurées,
- les informations sur l'état fonctionnel des constituants internes du capteur,
- la valeur des compteurs utilisés par la maintenance systématique,

- les alarmes,
- des résultats de séquences de tests ou de simulations,
- des grandeurs virtuelles, par exemple : évaluation de quantité de produit transformé, estimation de la durée de vie de l'instrument,
- des erreurs d'accès,
- des signaux informant qu'une donnée est disponible
- des signaux de synchronisation pour d'autres tâches externes,
- etc..

La liste nominative des informations produites et consommées peut être réalisée pour tout capteur. Elle permet de définir les informations de la base de données interne au capteur accessibles de l'extérieur. Elles peuvent, dans ce sens, apporter une aide à la conception. Toutefois, les échanges de données nécessitent une représentation et une manipulation communes de l'information.

### **5.2.2 : La représentation de l'information**

Afin de fixer un cadre à la standardisation des réseaux de communication, l'I.S.O. (International Standard Organization) a défini un modèle normalisé : le modèle de référence O.S.I. (Open System Interconnection). Le modèle O.S.I. [ROLI 91] décompose en sept couches le protocole global définissant les règles de dialogue entre un ensemble d'équipements hétérogènes (voir figure V.1).



*Figure V.1 : Décomposition en sept couches du système de communication.*

Pour chaque couche, les fonctionnalités des services rendus sont précisées. Par ailleurs, le modèle est construit sur la règle suivante : les services d'une couche N sont fournis à la couche N-1 grâce aux fonctions effectuées à l'intérieur de la couche N et suivant le besoin, avec l'aide des services offerts par la couche N-1.

Parmi, les sept couches du modèle O.S.I., seules trois (les couches 1, 2 et 7) sont généralement utilisées dans le cas des réseaux de terrain.

#### ☞ **La couche 1 : couche physique**

Elle est chargée du transport physique, sur le support de transmission, des bits constituant l'information. Cette couche définit les caractéristiques et le mode de transmission.

#### ☞ **La couche 2 : liaison de données**

Elle utilise les services rendus par la couche physique pour assurer un premier niveau de contrôle de la transmission. Cette couche a pour principale fonction de détecter et de corriger les erreurs de transmission apparues au niveau physique de l'échange d'information. Pour remplir cette fonction, la couche 2 réalise une première structuration de l'information sous forme de caractères ou de trames (suite structurée de bits).

#### ☞ **La couche 7 : application**

Elle joue le rôle de l'interface entre l'utilisateur et "le monde O.S.I.". Elle fournit à l'utilisateur (processus ou opérateur humain) l'ensemble des services liés à la répartition des informations sur différentes entités (service de transfert sécurisé d'information, de synchronisation des échanges, de présentation des données ...).

C'est au niveau des protocoles de la couche de niveau 7 que se définissent les règles de représentation des informations et d'enchaînement des messages (syntaxe, gestion des noms, etc.). Elle constitue un élément essentiel car il est nécessaire d'une part, que les données échangées par les instruments soient comprises des uns et des autres (langage commun) et d'autre part, qu'une demande de service envoyée par un instrument à un autre soit bien exécutée comme l'attend l'instrument demandeur.

### **5.3 : Le langage d'interopérabilité : différentes approches**

L'interopérabilité est la propriété qui garantit qu'une coopération est possible entre deux instruments en provenance de constructeurs différents. Le standard 4-20 mA utilisé pour représenter un intervalle [0%-100%] est un exemple de norme respectant le principe d'intercommunication puisqu'il définit non seulement un système de transmission mais également un formalisme de représentation des informations. L'interopérabilité, pour cet exemple, n'est vérifiée que si chaque instrument interprète correctement la valeur exprimée entre 0 et 100 %.

A la notion d'interopérabilité, est souvent associée la notion d'interchangeabilité qui est la garantie de pouvoir remplacer un appareil par un autre ayant la même fonction mais en provenance d'un constructeur différent. L'équipement de remplacement doit donc offrir les mêmes services, produire les mêmes données, et également les représenter de la même façon.

Ces deux aspects d'interopérabilité et d'interchangeabilité sont essentiels, car les utilisateurs souhaitent ne pas avoir à redéfinir entièrement les supports logiciels de leur application chaque fois qu'ils remplacent, ajoutent ou suppriment un équipement de leur installation. Les constructeurs de réseaux et les développeurs d'instrumentation intelligente ayant compris qu'ils ne pourront réellement imposer leurs produits que s'ils respectent les principes d'interopérabilité et d'interchangeabilité, s'attachent à la mise en oeuvre de ces deux notions. Nous présentons ci-dessous deux approches :

- l'approche D.D.L. (Device Description Language) développée par la société Rosemount pour les produits H.A.R.T. (Highway Adressable Remote Transducer) et soutenue également par les sociétés Fisher Control, Siemens et Yokogawa dans le cadre du projet I.S.P. (Interoperable System Project),
- l'approche de décomposition en blocs exécutifs développée initialement par un groupe de travail du Club FIP et qui a conduit au projet de norme C 46-645 [UTE 92]. Cette approche semble actuellement abandonnée au profit d'une approche reposant sur une description par blocs fonctionnels dans le cadre du projet WorldFIP soutenu par les sociétés Allen Bradley, Elsag Bailey, Honeywell, Cegelec, Télémécanique ....

#### **5.3.1 : L'approche D.D.L.** [WEST 92], [FISH 92]

D.D.L. (Device Description Language) se présente comme un langage conçu pour décrire complètement et correctement le comportement de l'instrument vis-à-vis du système de

---

communication. Ceci se traduit par une description normalisée de toutes les variables accessibles, des commandes compréhensibles par l'instrument et des procédures opératoires (par exemple : procédure de calibration). Cette description peut être directement intégrée à l'instrument au niveau de sa couche application ou l'accompagner sur un support mémoire. Elle sera alors chargée au niveau du gestionnaire de communication lors de l'installation de l'instrument.

La définition du langage D.D.L. comporte huit éléments de base appelés constructeurs :

- les variables,
- les requêtes,
- les méthodes,
- les menus,
- les écrans d'affichage,
- les relations,
- les tableaux,
- les structures.

La définition de chaque constructeur (sauf pour les relations, les tableaux et les structures) peut être complétée par des attributs, eux-même complétés par des sous-attributs (voir figure V.2).

### ☞ **Les variables**

Les variables sont utilisées pour définir les données contenues dans l'appareil. Une variable est référencée par un nom unique dans toute l'application. Elle doit également avoir un type. Les autres attributs sont optionnels.

- L'attribut *classe* indique de quelle nature est la variable (par exemple : variable d'identification de l'appareil (nom constructeur, type d'appareil ...), variable relative à l'état opérationnel de l'instrument, variable de configuration, etc.). Cet attribut peut être utilisé pour définir les autorisations d'accès aux données.
- Si la valeur d'une variable est toujours exprimée sous la même unité alors cette unité est définie par l'attribut *unité*.
- L'attribut *utilisation* définit si la valeur d'une variable peut être écrite, lue, ou écrite et lue par l'utilisateur.
- L'attribut *aide* associe un texte à une variable. Ce texte est destiné à fournir un complément d'information aux opérateurs.

- ❑ L'attribut *label* définit le texte qui est affiché sur les consoles avec la valeur de la variable.
- ❑ Les *pré-actions* définissent les actions à réaliser avant d'accéder à la lecture ou à l'écriture d'une variable. Les *post-actions* spécifient les actions à effectuer après lecture ou écriture d'une variable.
- ❑ Le *temps d'accès en lecture* définit le temps qui s'écoule entre le moment où une application fait une demande de lecture et le moment où cette demande est satisfaite. De même, le *temps d'accès en écriture* spécifie le temps d'attente entre le moment où une donnée est envoyée à un appareil et le moment où elle y est écrite.
- ❑ L'attribut *type* décrit le format de la valeur d'une variable (par exemple : entier, flottant, énuméré, ASCII, etc.). Des sous-attributs apportent une information supplémentaire sur la variable en fonction de son type. Ainsi :
  - le sous-attribut *facteur d'échelle* donne le coefficient par lequel la valeur de la variable doit être multipliée avant d'être utilisée,
  - les sous-attribut *format d'affichage* et *format d'écriture* définissent comment une variable doit être affichée (par exemple, avec deux chiffres après la virgule) et sous quel format elle doit être écrite par l'utilisateur,
  - les sous-attributs *valeur minimale* et *valeur maximale* définissent les limites de l'intervalle dans lequel l'utilisateur peut donner une valeur à la variable.
- ❑ L'attribut *validité* est un booléen indiquant si la valeur d'une variable a un sens compte tenu de la configuration matérielle (par exemple : certaines variables ne sont significatives que si certains capteurs sont connectés) et de l'utilisation qui est faite de l'instrument.

### ☞ **Les requêtes**

Les requêtes décrivent comment l'utilisateur peut accéder aux variables. Comme les variables, chaque requête est référencée par un nom unique pour l'ensemble de l'application, et ceci est vrai pour tout objet présenté par la suite. Une requête comporte quatre attributs dont aucun n'est optionnel.

- ❑ Un *numéro* est associé à chaque type de requête possible. Si deux appareils sont accessibles chacun par une même requête, ces requêtes ont des numéros identiques mais des noms différents.
- ❑ L'attribut *code opération* définit les actions qui sont réalisées par l'appareil suite à la réception d'une requête. Il existe trois types de requête : lecture, écriture ou commande. Après avoir reçu une requête :

- de lecture, l'appareil retourne les valeurs courantes d'un ensemble de variables,
- d'écriture, l'appareil affecte à un ensemble de variables les valeurs définies par l'utilisateur,
- de commande, l'appareil effectue un ensemble défini d'actions.

- Les *opérandes* sont des paramètres qui définissent sur quoi portent les messages de requête et de réponse.
- L'attribut *code réponse* définit les valeurs que l'appareil doit retourner comme information d'état (succès, erreur fatale, erreur en entrée, commande rejetée ...) après une requête.

### ☛ **Les méthodes**

Les méthodes définissent les opérations qui doivent être réalisées par les utilisateurs pour obtenir en retour des actions appropriées de la part des instruments de terrain. Par exemple, la réalisation de séquences de tests, d'initialisation, de calibration ... peut être décrite par des méthodes. Une méthode est définie par cinq attributs.

- La *classe* d'une méthode définit le type d'opération sur laquelle elle porte (par exemple, aide au diagnostic, configuration, simulation ...).
- La *définition* d'une méthode est un ensemble d'instructions du langage de programmation C ANSI permettant la réalisation de la méthode.
- L'*aide* est un texte qui peut être affiché sur demande de l'opérateur pour préciser la définition ou le déroulement de la méthode.
- Le *label* définit le texte qui doit être affiché pour identifier la méthode.
- L'attribut *validité* est un booléen qui précise si la méthode est accessible compte tenu de la configuration et de l'utilisation qui est faite de l'instrument.

### ☛ **Les menus et les écrans d'affichage**

Les menus et les écrans d'affichage définissent comment les informations sont présentées aux opérateurs.

Un menu est composé de deux attributs :

- Le *label* définit les textes affichés.
- Les *items* énumèrent la liste des choix possibles.

Un écran d'affichage est défini par trois attributs :

- Le *label* donne un titre à l'écran.
- Les *données informationnelles* sont des données affichées uniquement pour apporter une information aux opérateurs.
- Les *données à éditer* sont des variables dont les valeurs doivent être modifiées ou au moins validées par l'opérateur.

### ☞ Les relations

Les relations décrivent les liens entre les variables. On distingue trois types de relation.

- Les relations de *rafraichissement* définissent un ensemble de variables qui doivent être remises à jour chaque fois que la valeur d'une variable de l'ensemble est modifiée.
- Les relations *unités* définissent une unité et l'ensemble des variables qui utilisent cette unité. Ainsi, lorsque l'unité est modifiée, les valeurs des variables exprimées sous cette unité le sont également.
- Les relations *écrites ensemble* regroupent les variables qui doivent être modifiées en même temps.

### ☞ Les tableaux et les structures

Les tableaux et les structures sont utilisés pour décrire des groupes logiques d'objets de même type.

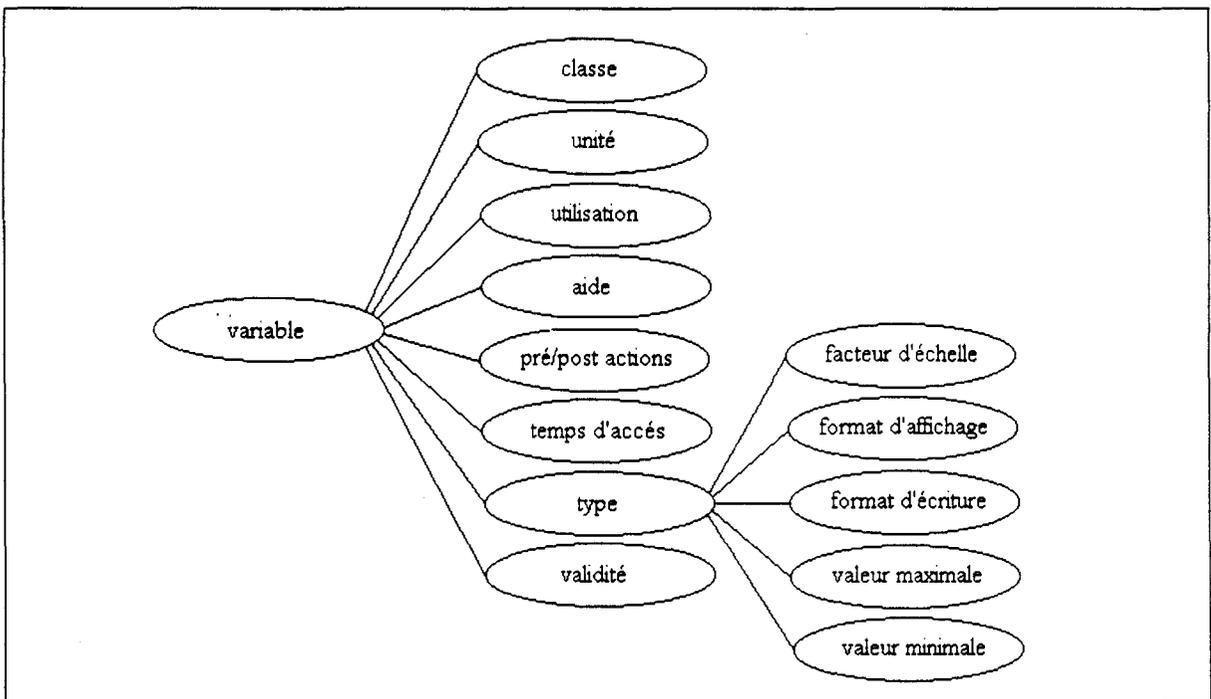


Figure V.2.a : Le constructeur variable.

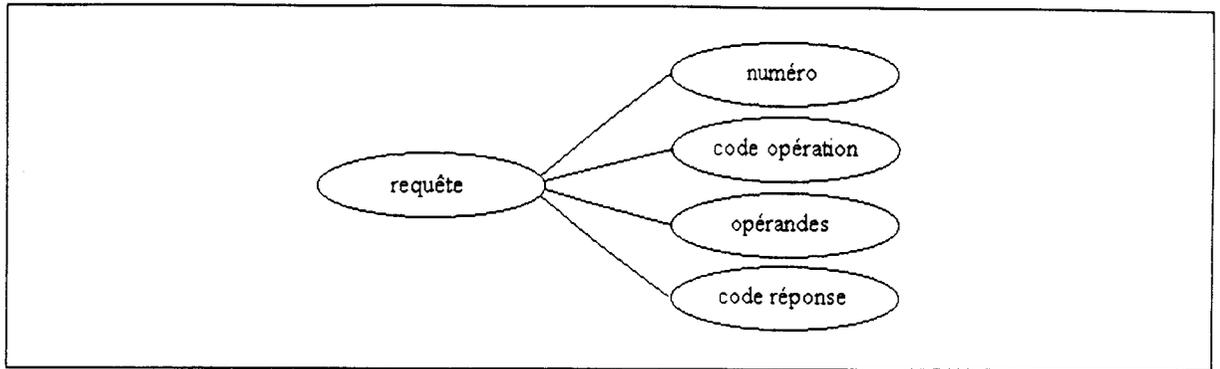


Figure V.2.b : Le constructeur requête.

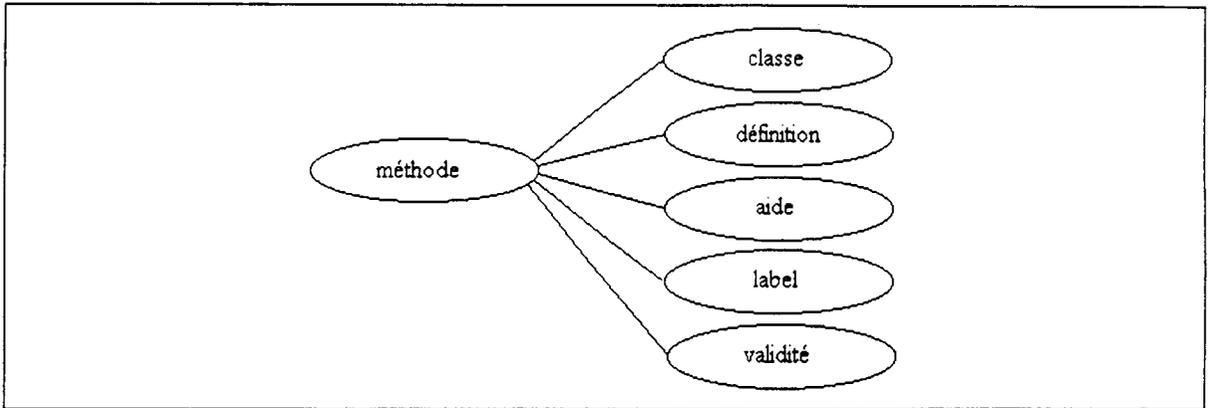


Figure V.2.c : Le constructeur méthode.

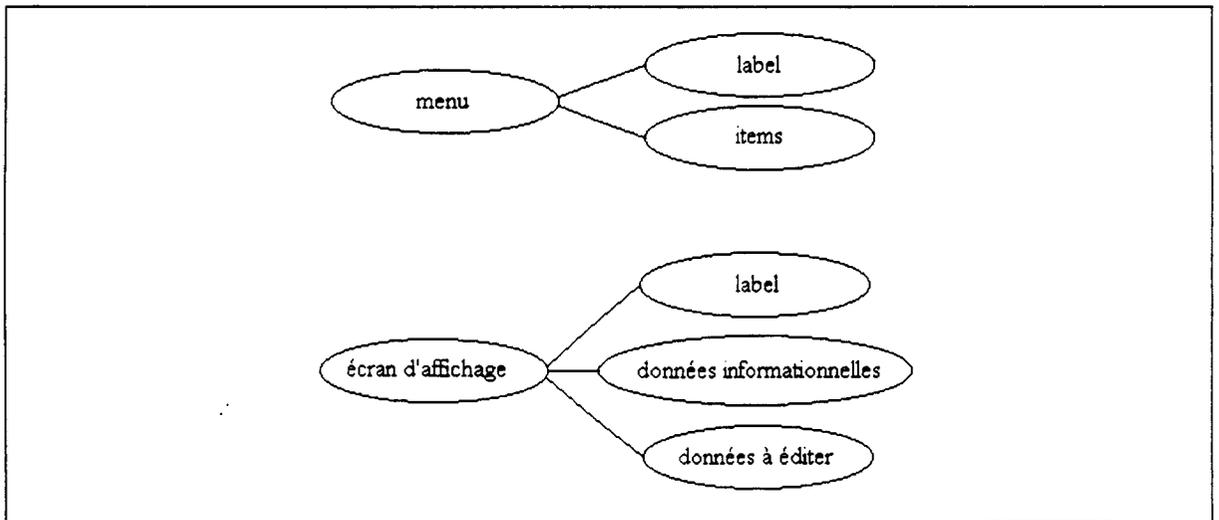


Figure V.2.d : Les constructeurs menu et écran d'affichage.

Le langage D.D.L. que nous venons de présenter offre un formalisme standardisé de description d'un instrument de terrain d'un point de vue externe :

- en répertoriant les variables utilisées par l'instrument et en précisant éventuellement pour chacune d'elles, à quel usage elle est dédiée (configuration, évaluation d'état, etc.), si elle est produite ou consommée ou les deux, le format sous lequel s'exprime sa valeur ...,
- en énonçant les différentes manières d'accéder aux variables (lecture, écriture ou commande particulière),
- en définissant les actions à réaliser pour obtenir des services particuliers faisant appel à une suite de traitements (par exemple, initialisation, test, configuration),
- en précisant les formalismes de représentation et d'affichage des grandeurs,
- en regroupant les variables dont les valeurs doivent être modifiées sur une même fenêtre temporelle.

Par ailleurs, le langage D.D.L. ajoute à ces constructeurs de base des mécanismes supplémentaires facilitant l'évolution et la définition des descriptions (en particulier, des mécanismes d'importation d'une version à une autre).

Le langage D.D.L. a été développé dans l'optique de faciliter la définition du logiciel associé aux gestionnaires de communication et pour gérer, avec moins de difficultés, les versions successives d'instruments intelligents. Une autre approche pour aboutir à la définition des variables consommées et produites par un instrument intelligent sous un format normalisé consiste à le décrire sous la forme de blocs exécutifs. C'est cette approche qui est décrite dans le paragraphe suivant.

### **5.3.2 : L'approche Blocs Exécutifs [UTE 92]**

Le langage D.D.L. est un vocabulaire de description d'un appareil. L'approche blocs exécutifs quant à elle, est une méthode qui structure un équipement en entités fonctionnellement autonomes appelées blocs exécutifs. Pour chaque bloc exécutif, la fonctionnalité réalisée (par exemple, mesurage, validation, paramétrage), les variables d'informations associées et la manière dont sont gérés les événements, sont définies.

Cette méthode de description des équipements a été définie par les partenaires de la mise en oeuvre du réseau de terrain F.I.P. (Factory Instrumentation Protocol). Elle vise non seulement à définir un langage d'interopérabilité en donnant à chaque signal d'entrée ou de sortie d'un bloc un nom normalisé mais également à vérifier l'interchangeabilité des instruments en s'assurant que pour deux appareils de même type (par exemple capteurs de pression différentielle) destinés à une même classe d'applications, les fonctionnalités et les

informations accessibles sont les mêmes. La méthode de décomposition en blocs exécutifs s'appuie sur les définitions suivantes.

### ☞ La structure d'un équipement

Un équipement est décomposé en quatre entités fonctionnellement indépendantes (elles exécutent des traitements qui leur sont propres) mais couplées (les données de sortie d'une entité peuvent être des données d'entrée pour une autre).

- ❑ L'entité *Interface procédé* réalise l'acquisition des entrées et la restitution vers les sorties du procédé (les informations en provenance et à destination d'un terminal de poche font partie du procédé). Elle assure également les transformations et adaptations des données numériques pour l'application. Le terme procédé correspond ici et dans la suite à un ensemble d'appareils réunis pour réaliser une fonction.
- ❑ L'entité *Application* regroupe des traitements plus ou moins complexes. Elle est équivalente à la fonction traiter de la décomposition fonctionnelle.
- ❑ L'entité *Interface réseau* assure la communication via le réseau vers les autres équipements ou les consoles de supervision des opérateurs.
- ❑ L'entité *Gestion* assure la gestion des autres entités.

Cette décomposition d'un équipement est présentée figure V.3.

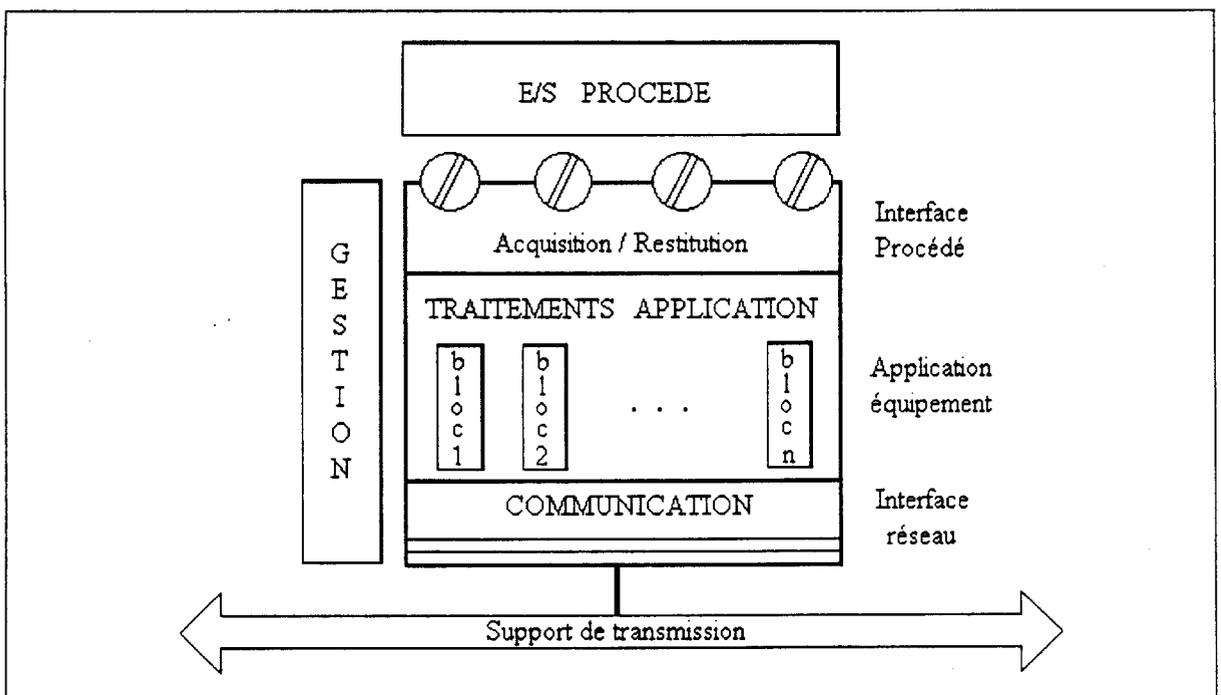


Figure V.3 : Décomposition d'un équipement en quatre entités.

### ☞ Les blocs exécutifs

On appelle bloc exécutif (BE), un ensemble comprenant des fonctions propres à l'acquisition / restitution des données en provenance ou à destination du procédé, des fonctions de traitement propres aux algorithmes applicatifs et des fonctions propres à la communication telles que le fonctionnement de cet ensemble soit autonome. Ainsi, un équipement comprend un ou plusieurs blocs exécutifs et il n'existe aucun échange direct entre les blocs exécutifs d'un même instrument (voir figure V.4).

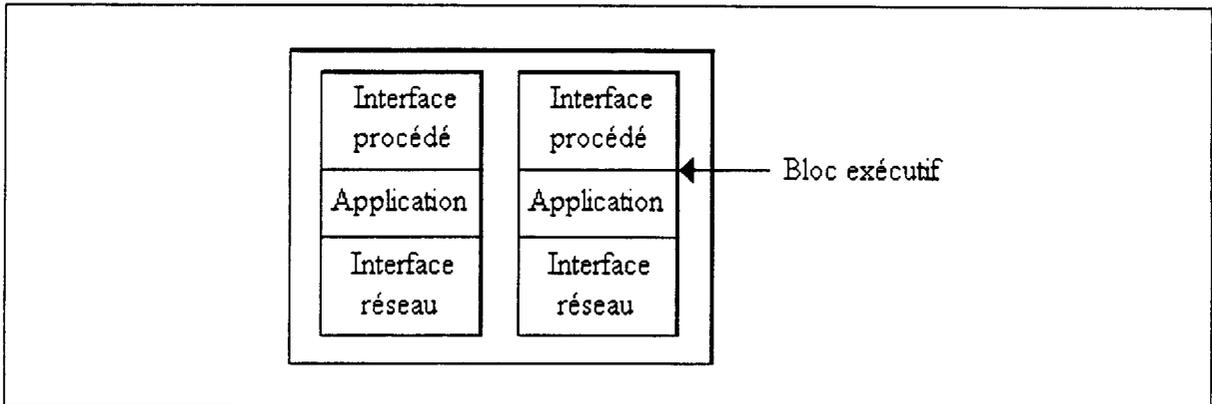


Figure V.4 : Exemple d'équipement comportant deux blocs exécutifs.

### ☞ Les blocs réactifs

Le rôle d'un bloc exécutif est d'effectuer des traitements à partir d'informations en provenance du procédé ou du réseau. Mais un traitement ne peut être exécuté que si l'ensemble des ressources qui lui sont nécessaires sont disponibles. Les traitements à activer lorsque des conditions sont vérifiées sont regroupés dans des blocs réactifs (BR) matérialisant chacun une entité d'exécution. Selon le type de traitements qu'ils incluent, on distingue plusieurs types de blocs réactifs.

#### ☞ Les blocs réactifs application

Un bloc réactif application (BRA) réalise des traitements orientés application c'est-à-dire aussi indépendants que possible du monde du procédé et du monde du réseau. Les variables manipulées par les blocs réactifs application sont des variables d'application (VAP).

### ☞ **Les blocs réactifs interface procédé**

Les blocs réactifs interface procédé (BIP) ont pour rôle de transformer les variables du procédé (VPR) en variables application (VAP) et inversement.

### ☞ **Les blocs réactifs interface réseau**

Les blocs réactifs interface réseau (BIR) ont une fonction symétrique à celle des blocs réactifs interface procédé. En effet, leur rôle est de transformer les informations réseaux (variables de communication (VCOM)) en variables application (VAP) et réciproquement.

### ☞ **Le séquenceur**

Le séquenceur gère l'activation des traitements. Il se décompose en un ordonnanceur, un conditionneur de signaux et un vaguemestre. L'ordonnanceur a pour rôle d'évaluer à chaque instant, les équations logiques représentant les conditions d'activation des différents traitements. Une partie des paramètres de ces équations logiques correspond à des états élaborés par le conditionneur de signaux. La mission du conditionneur de signaux est de transformer des informations (apparition d'un front, maintien au niveau haut, etc.) en états et d'affecter une durée de vie à ces états. Le rôle du vaguemestre est, sur sollicitation de l'ordonnanceur, de prélever les variables applications de N blocs réactifs (BRA, BIR, BIP) et de les mettre à disposition de M blocs réactifs.

### ☞ **Les blocs d'adaptation des informations externes**

Certaines informations en provenance des interfaces réseau et procédé peuvent être événementielles (par exemple, changement d'état logique, panne d'un module d'entrée sortie, signal interne à l'électronique ...). La prise en compte de ces informations nécessite des traitements de conditionnement avant que ces dernières soient mises à disposition de la partie application. Ces traitements sont pris en charge par les blocs d'adaptation des informations externes BAIE faisant partie selon le cas, de l'interface réseau ou de l'interface procédé.

Selon ces définitions, un bloc exécutif peut être schématisé comme présenté sur la figure V.5.

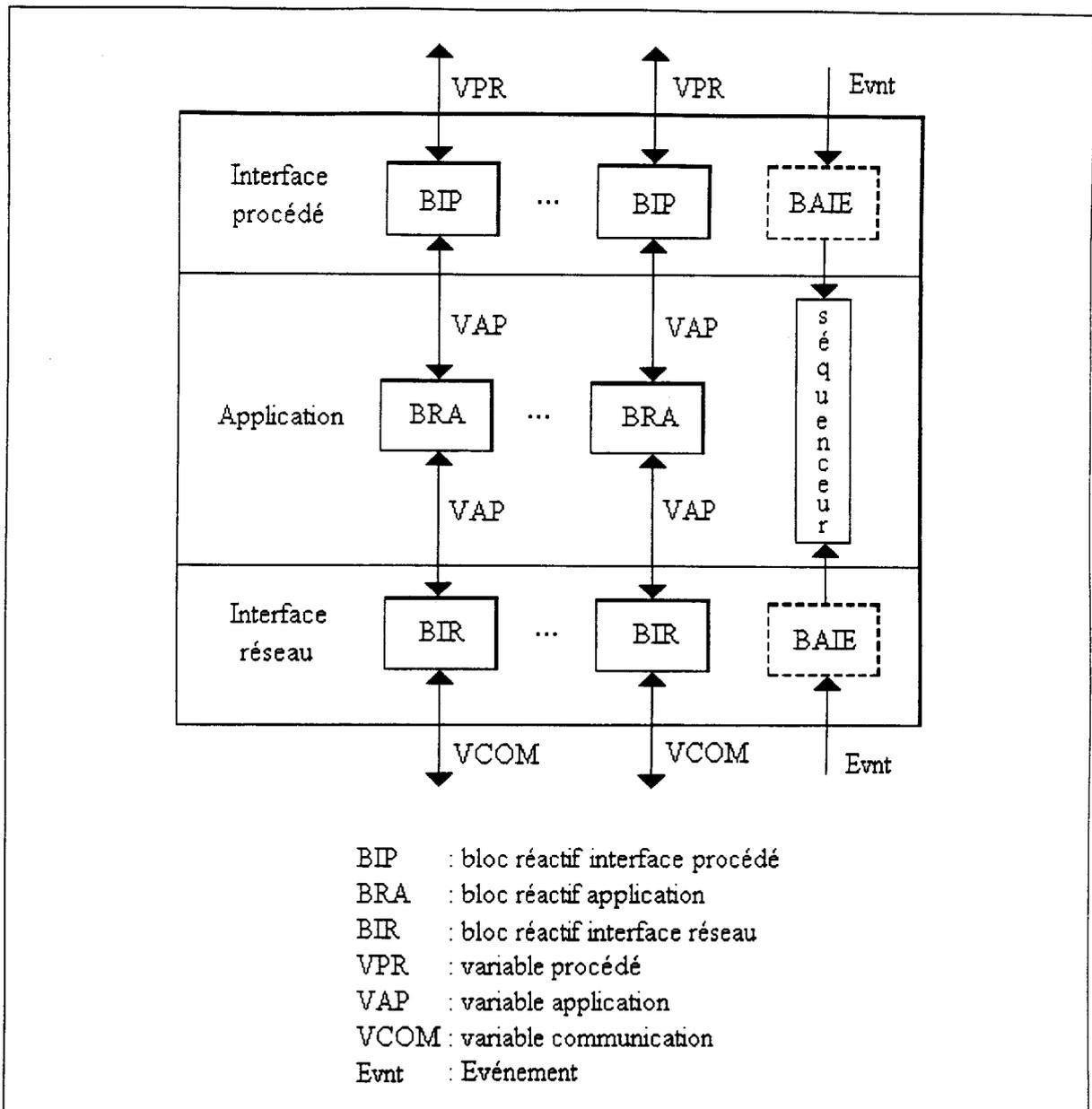


Figure V.5 : Structure d'un bloc exécutif.

A partir de ces définitions, il est possible de définir une démarche permettant d'aboutir à une représentation normalisée des fonctionnalités d'un équipement puis à l'élaboration du langage qui lui est associé. Les différentes étapes de la démarche sont les suivantes :

1 : Description textuelle des fonctionnalités offertes par l'instrument. Par exemple, pour un capteur de pression différentielle, les fonctionnalités peuvent être les suivantes (d'après [UTE 92]) :

- fonctionnalités de mesure
- . correction,

- . moyennage,
- . élaboration de la mesure fonctionnelle,
- . calcul en unités physiques et valeurs normalisées,
- fonctionnalités de validation
  - . validation du fonctionnement du capteur,
  - . validation des mesures,
- fonctionnalités de paramétrage
  - . paramétrage des données constructeur,
  - . paramétrage des données utilisateur,
  - . calibration,
- etc..

A chaque fonctionnalité sont associées les données utilisées. Par exemple, les données nécessaires à la fonctionnalité mesure sont :

- la pression différentielle brute,
- la température de cellule,
- la température de l'électronique,
- le zéro de calibration,
- la fin de l'échelle de calibration.

2 : Description de l'application par découpage sous forme de blocs fonctionnels,

- a : recherche des sous-systèmes exécutifs indépendants, autrement dit, définition des blocs exécutifs,
- b : recherche des blocs réactifs correspondant chacun au déroulement complet d'une tâche spécifique à l'instrument (par exemple : bloc réactif interface procédé d'acquisition des variables physiques du processus et des mesures internes, bloc réactif application de synchronisation de l'horloge interne sur le temps actuel du réseau ...). A chaque bloc exécutif est associé un label ayant une signification pour le formalisme utilisé. Par exemple, `BIR_DP_TEMP` pour le bloc réactif interface procédé d'acquisition des variables physiques du processus et des mesures internes. Chaque bloc réactif est ensuite décrit par deux sortes de tableaux correspondant chacun à un type d'information. En effet, la distinction est faite entre les informations dont on exploite la valeur (information de type état) et les informations dont on exploite les transitions (information de type événement). Chaque information apparaissant dans le tableau est décrite par (voir exemples ci-dessous) :
  - son contenu sémantique,
  - son identifieur,
  - son type,

- son caractère d'entrée/sortie.

	Identifieur	Type signal	Contenu	E/S
1	A_BIP	Tant_que_vrai	Signal d'activation BIP_DP_TEMP	E
2	F_BIP	Dirac	Signal de fin de traitement BIP_DP_TEMP	S

Tableau V.1 : Informations de type événement.

	Identifieur	Type	Taille	Contenu	E/S
1	DP_BRUTE	PF	4	Pression différentielle brute	S
2	TEMP_CELL	PF	4	Température cellule de mesure	S
3	TEMP_ELEC	PF	4	Température de l'électronique	S

Tableau V.2 : Informations de type état.

c : description du séquenceur. Elle se résume souvent à la description de l'ordonnanceur. L'ordonnanceur est décrit par les équations booléennes qu'il manipule et par les informations traitées dans cette équation.

Les variables de communication qui sont les entrées et les sorties des blocs réactifs interface réseau définissent directement la liste des variables produites et consommées par l'instrument intelligent. Ce sont elles qui sont échangées entre appareils et opérateurs via le réseau de terrain.

Le langage D.D.L. tout comme la décomposition en blocs exécutifs permettent d'aboutir à une représentation normalisée des variables produites et consommées par l'instrument intelligent. La décomposition en blocs exécutifs permet d'obtenir un modèle standard de conception des instruments intelligents puisqu'elle détaille pour chaque fonctionnalité apportée (ou service rendu) la façon dont s'enchaînent les traitements internes. Dans ce sens, elle se rapproche de la description des fonctionnalités internes selon le formalisme S.A.D.T. proposé dans le chapitre 4. Le schéma représentant la décomposition d'un équipement en quatre entités (voir figure V.3) peut s'exprimer d'une façon équivalente selon les fonctionnalités internes présentées chapitre 4 (voir figure V.6).

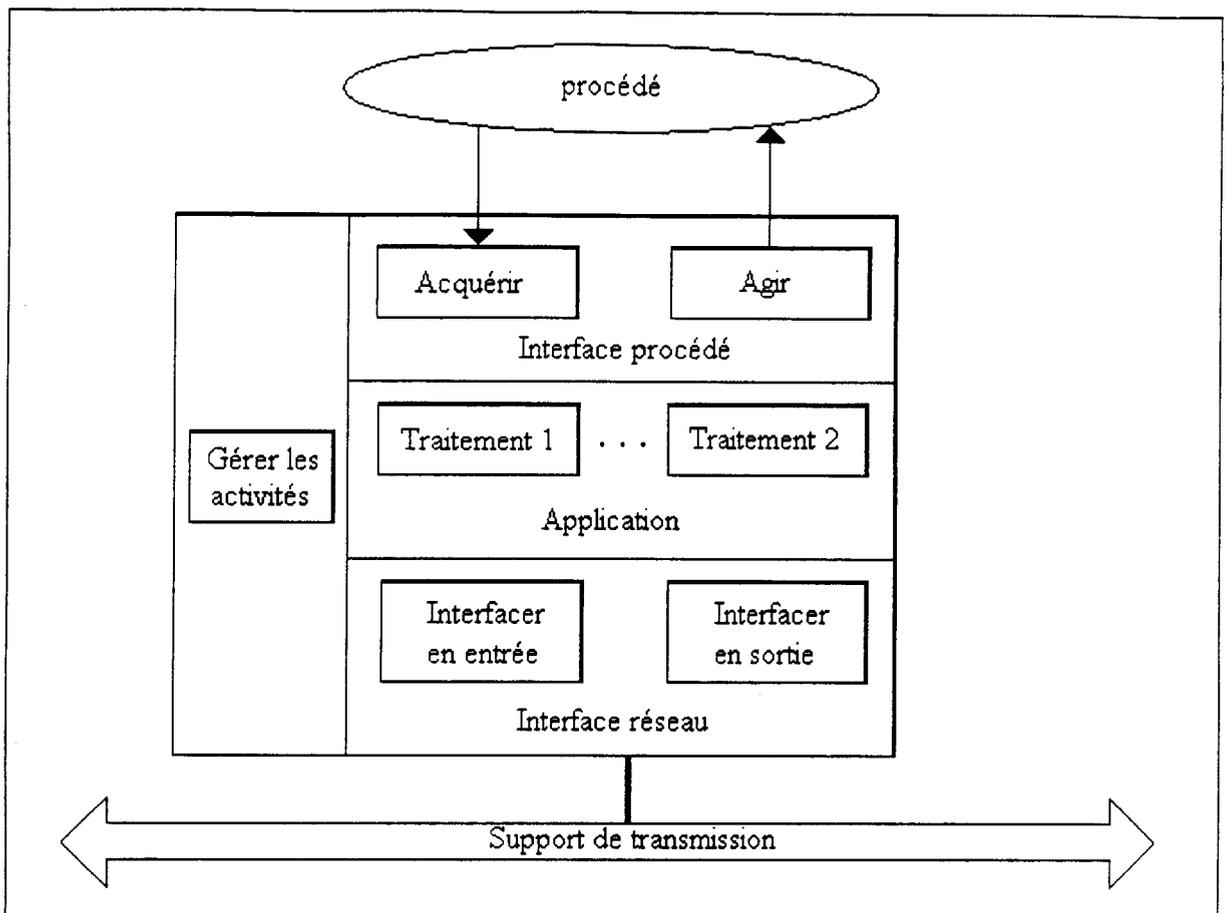


Figure V.6 : Autre représentation de la décomposition d'un équipement.

Par rapport au modèle interne que nous avons proposé, la décomposition en blocs exécutifs n'intègre pas de fonctionnalité de gestion des modes d'utilisation (définition des conditions d'accès aux services en fonction du demandeur et du mode de fonctionnement actuel de l'instrument) ni de fonctionnalité de gestion des modes de marche (mise à jour de la liste des services accessibles en fonction de l'état opérationnel de l'instrument).

Le langage D.D.L., par l'intermédiaire des requêtes et des méthodes propose une normalisation des accès aux différents services et aux données. Par contre, à l'inverse de la décomposition en blocs exécutifs, il ne décrit pas comment les traitements sont structurés au sein d'un appareil. Ceci est un inconvénient pour la vérification de l'interchangeabilité, car même si un instrument consomme et produit les mêmes données, et est accessible par les mêmes requêtes qu'un autre, il n'est pas certain que les traitements soient réalisés de la même façon en interne.

Les deux approches sont donc complémentaires, D.D.L. favorise l'interopérabilité alors que la décomposition en blocs exécutifs est plutôt orientée vers l'interchangeabilité. Cependant, elles

nécessitent d'être complétées par deux notions supplémentaires précisant l'organisation des services et leurs conditions d'exécution. En effet, pour des raisons évidentes de cohérence de fonctionnement, les services doivent être organisés relativement à un utilisateur dans une situation donnée (notion de modes d'utilisation). Par ailleurs, pour qu'un service soit réalisé, il ne suffit pas qu'il ait été demandé, par un utilisateur donné, dans une situation précise mais il est également nécessaire que les ressources sur lesquelles il s'appuie soient en bon état (notion de gestion des modes de marche).

Le fonctionnement global d'un système à intelligence distribuée ne sera cohérent que si chaque entité a la possibilité de connaître l'organisation et les conditions d'exécution des services des appareils avec lesquels elle coopère. Le modèle externe que nous proposons dans le paragraphe suivant intègre ces deux concepts.

## **5.4 : Le modèle externe développé**

### **5.4.1 : Les services**

Le chapitre 4 présentait le modèle interne d'un capteur intelligent. Vu par les automatismes et les opérateurs, c'est un instrument qui rend des services, suite à une demande appelée requête. Une requête est définie par :

- son nom, qui permet de l'identifier,
- ses paramètres d'exécution, qui permettent d'avoir des services modulables. L'ensemble des requêtes paramétrées auxquelles l'instrument est capable de répondre définit son langage de commande,
- son origine, c'est-à-dire l'identification de l'entité qui l'a produite (opérateur de conduite, de maintenance, automate, etc.),
- son mode de transmission, c'est-à-dire le moyen de dialogue par lequel elle parvient à l'instrument intelligent.

L'ensemble des origines et des modes de transmission autorisés pour les requêtes du langage de commande définissent un protocole de commande.

Une requête conduit à l'exécution d'un service. Cependant, pour des raisons évidentes de fonctionnement, même si toutes les requêtes peuvent être adressées à l'instrument intelligent à tout moment, d'une part les services associés ne sont pas accessibles en même temps, d'autre part les ressources nécessaires à son exécution doivent être disponibles (par exemple, il ne doit pas être possible d'aller modifier la configuration du capteur lorsque celui-ci est utilisé

dans un contexte de mesure, la valeur du mesurande ne peut être fournie lors d'une défaillance de l'alimentation). Dans ce sens, il convient d'organiser l'ensemble des services.

## **5.4.2 : L'organisation des services**

### **5.4.2.1 : Les modes d'utilisation**

L'analyse du cycle de vie a mis en évidence différentes étapes correspondant à différents modes d'utilisation (configuration, mode automatique, maintenance ...) qui, pour des raisons de sécurité et de cohérence de fonctionnement, sont régis par certaines règles :

- 1 : Les modes d'utilisation sont exclusifs.
- 2 : Il n'est pas possible de rejoindre n'importe quel mode d'utilisation à partir de n'importe quel autre.

La gestion des modes d'utilisation du capteur intelligent repose sur la donnée de l'ensemble des modes et des conditions de passage de l'un à l'autre. Celle-ci peut être décrite par un graphe d'état (figure V.7) ou de façon équivalente, par un tableau des transitions, portant en ligne les modes d'origine, en colonne les modes de destination, et aux intersections les conditions logiques permettant le passage de l'un à l'autre.

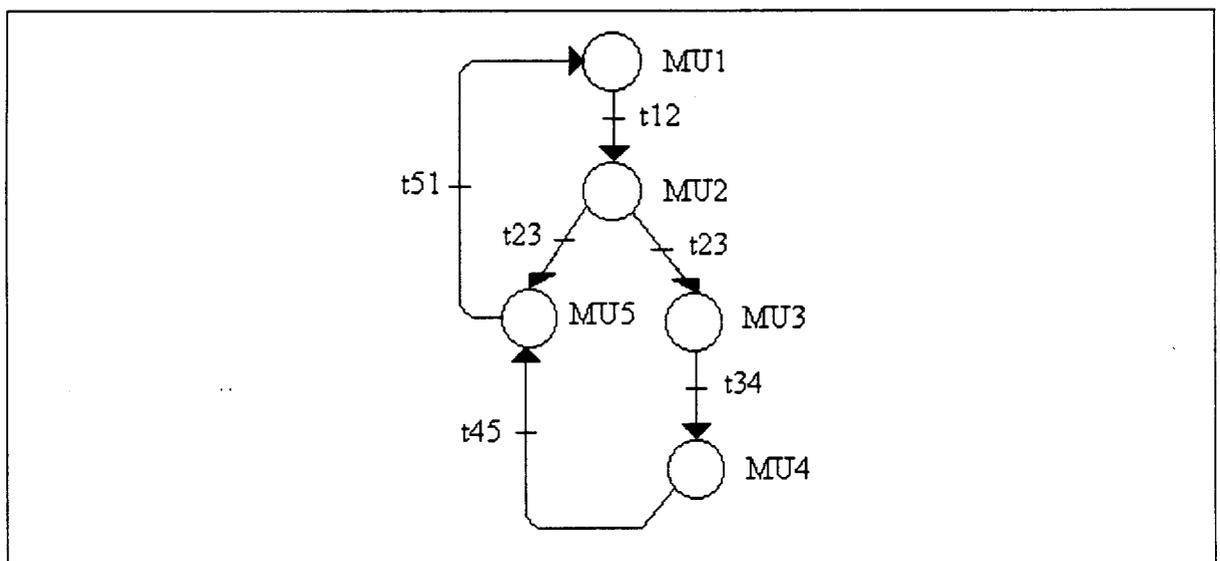


Figure V.7 : Graphe de gestion des modes d'utilisation.

Naturellement, chaque mode d'utilisation comporte des services spécifiques correspondant aux changements de modes autorisés. Par exemple (voir figure V.7), MU2 comprend deux services de changement de mode :

- demande de passage en mode MU3,
- demande de passage en mode MU5.

La finalité de chaque mode d'utilisation est d'offrir un sous-ensemble cohérent de services.

Soient  $S = \{s_i, i \in I\}$ , l'ensemble des services,

$M = \{m_j, j \in J\}$ , l'ensemble des modes d'utilisation.

( $I, J$  : ensembles d'indices)

A chaque mode d'utilisation est associé un ensemble de services (par exemple : ensemble des services permettant de configurer entièrement le capteur). Un mode d'utilisation est alors caractérisé par la définition et les trois propriétés suivantes :

$S_j = \{s_i, i \in I_j\}$  : ensemble des services accessibles dans le mode d'utilisation  $m_j$ ,  
( $I_j$  sous-ensemble de  $I$ )

(1) :  $\forall j \in J, S_j \neq \emptyset$  : un mode d'utilisation comprend au moins un service,

(2) :  $\forall s_i \in S, \exists j / s_i \in S_j$  : chaque service appartient au moins à un mode d'utilisation,

(3) :  $\bigcup_{j \in J} S_j = S$ .

Les propriétés (1), (2), (3) montrent que l'ensemble des modes d'utilisation caractérisés chacun par un ensemble de services accessibles  $S_j$ , constitue un recouvrement de l'ensemble des services (voir figure V.8).

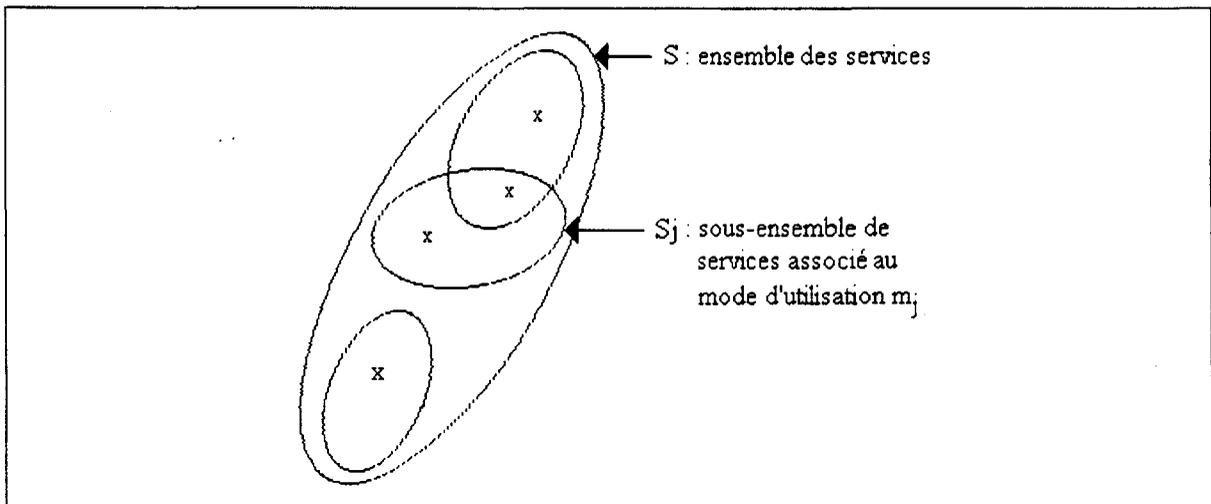


Figure V.8 : Recouvrement de l'ensemble des services.

Il est également possible de représenter l'ensemble des services accessibles dans un mode d'utilisation donné sous forme de tableau (voir tableau V.3). La variable  $X_{ij}$ , intersection entre une ligne (service  $s_i$ ) et une colonne (mode d'utilisation  $m_j$ ) correspond à la définition suivante :

$$X_{ij} = 1 \text{ si } s_i \in S_j,$$

$$X_{ij} = 0 \text{ si } s_i \notin S_j.$$

Par conséquent, pour  $j$  fixé, donc dans une colonne donnée, on retrouve, l'ensemble des services accessibles dans le mode  $m_j$  :

$$S_j = \{s_i / X_{ij}=1, i \in I\}$$

modos d'utilisation	$m_1$	...	$m_j$	...
services				
$s_1$	$X_{11}$	...	$X_{1j}$	...
...	...	...	...	...
$s_i$	$X_{i1}$	...	$X_{ij}$	...
...	...	...	...	...

$$X_{ij} = 1 \text{ si } s_i \in S_j,$$

$$X_{ij} = 0 \text{ si } s_i \notin S_j.$$

Tableau V.3 : Organisation des services.

A un instant donné, le système est dans un mode d'utilisation donné. Une première condition pour qu'une requête soit satisfaite est que le service demandé appartienne au mode courant.

#### **5.4.2.2 : La disponibilité des ressources**

Un service met en oeuvre un ensemble de traitements exécutés en vue d'obtenir un résultat déterminé suite à une requête. Le résultat se traduit par une modification du contenu de la base de données locale et/ou par un signal sur l'une des interfaces de sortie. Il correspond aux données produites par le(s) traitement(s) appliqué(s) sur des données d'entrée. Les données consommées par le(s) traitement(s) proviennent de la base de données locale ou sont issues des interfaces d'entrée. L'ensemble des traitements réalisant un service est considéré comme une unité insécable d'exécution. Dans le cadre de ce chapitre consacré au modèle externe, nous ne nous intéressons pas à la manière dont les traitements réalisant un service sont définis et structurés.

Un service est caractérisé par :

- des données consommées  $C(s)$
- des données produites  $P(s)$
- des ressources  $R(s)$
- une condition d'activation  $CA(s)$ .

Les traitements, activés par la condition  $CA(s)$ , produisent les données  $P(s)$  à partir des entrées  $C(s)$  en s'appuyant sur les ressources  $R(s)$ . Un service peut donc être représenté par le schéma présenté figure V.9.

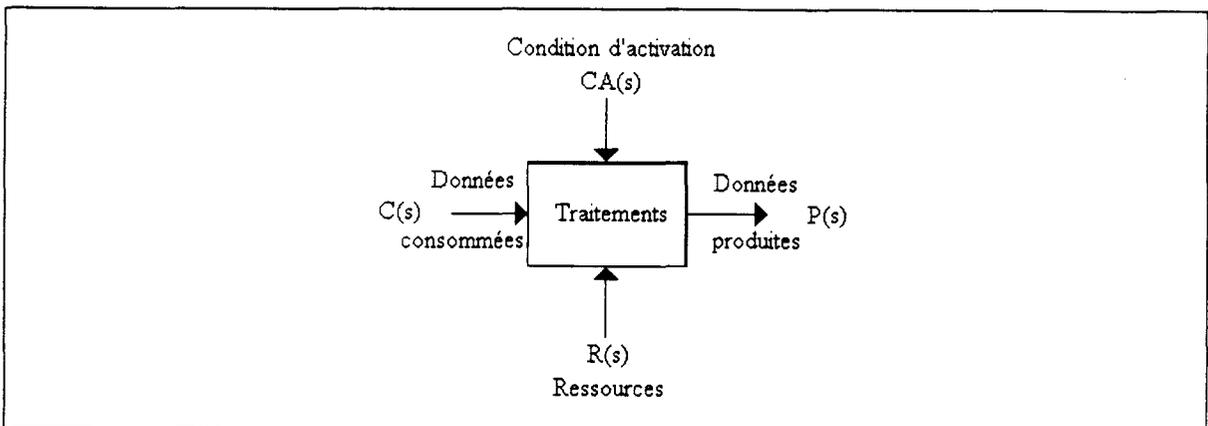


Figure V.9 : Représentation d'un service.

L'exécution d'un service est donc tributaire de l'état des ressources nécessaires aux traitements appartenant à ce service. Pour des raisons de robustesse face aux défaillances du capteur intelligent et/ou de son environnement, le constructeur peut avoir prévu des traitements de substitution. Dans ce cas, pour un même service, il existe plusieurs versions de traitements, chacune d'elle étant caractérisée par l'ensemble des ressources qu'elle nécessite. Un service est disponible si au moins une des versions peut être exécutée. Ces différentes versions sont ordonnées par un pré-ordre total défini par le concepteur selon des critères établis en concertation avec l'utilisateur (par exemple : fiabilité, précision, sécurité ...). La plus prioritaire étant naturellement la version nominale, les autres, des versions dégradées. Les versions dégradées appartenant à une même classe du pré-ordre sont naturellement relatives à des états des ressources exclusifs les uns des autres.

Soit  $V_{iS}$ , la version  $i$  du service  $s$ . Pour que le service  $s$  puisse être exécuté, il est nécessaire qu'il en existe une version n'utilisant que des ressources disponibles à l'instant  $t$ , ce qui est traduit par la relation suivante :

$$\exists V_{is} / R(V_{is}) \subseteq R(t) \quad (1)$$

avec  $R(t)$  : ensemble des ressources présentes à l'instant  $t$ .

Remarques :

- Lorsque la relation (1) n'est pas vérifiée, le service correspondant est indisponible.
- L'absence d'une ressource commune à l'ensemble des versions est une condition suffisante pour que le service soit indisponible.
- Si plusieurs versions vérifient la relation (1), celle qui sera exécutée est celle de plus haut niveau dans l'ordre de préférence.

La disponibilité du service est la deuxième condition pour qu'un service soit exécuté, la première étant que le service appartienne au mode d'utilisation courant. La liste des services disponibles et de leur version, pour le mode d'utilisation courant est établie par le module Gérer les modes de marche à partir de l'ensemble des ressources présentes. L'état des ressources est évalué par les algorithmes de surveillance.

Il est clair que l'exécution d'un service dépend, en plus de l'état des ressources, de la disponibilité des données consommées. De la même façon que pour les ressources, il peut exister des versions dégradées implantées par sûreté de fonctionnement (par exemple : substitution d'une valeur par défaut à une valeur non mesurable). Un service peut également devenir indisponible, alors que ses propres ressources sont en bon état, par le fait qu'un des producteurs d'une information qu'il consomme est inopérant. L'application du modèle externe à un niveau hiérarchique supérieur (par exemple : au niveau de l'entité fonctionnelle à laquelle appartient le capteur) permet de détecter ce type de situation.

### **5.4.2.3 : L'autorisation de la requête**

Un mode d'utilisation peut bien sûr être accessible par plusieurs utilisateurs. Cependant, les utilisateurs ayant accès à un même mode d'utilisation n'ont pas forcément accès au même sous-ensemble de services de ce mode. Il convient donc de définir l'ensemble des utilisateurs  $u_k$  ayant accès au service  $s_j$  dans le mode  $m_j$ . Le tableau V.4 est un moyen de définir les droits d'accès aux services.

utilisateurs	$u_1$	...	$u_k$	...
services				
$s_1$	$Y_{11}$	...	$Y_{1k}$	...
...	...	...	...	...
$s_i$	$Y_{i1}$	...	$Y_{ik}$	...
...	...	...	...	...

$Y_{ik} = 1$  si  $u_k$  a accès au service  $s_i$ ,  
 $Y_{ik} = 0$  si  $u_k$  n'a pas accès au service  $s_i$ .

Tableau V.4 : Droits d'accès aux services dans le mode d'utilisation  $m_j$ .

Ainsi, il est possible de définir :

- $S_{jk} = \{s_i / s_i \in m_j \text{ et } Y_{ik} = 1\}$  : l'ensemble des services accessibles par l'utilisateur  $u_k$  dans le mode d'utilisation  $m_j$ ,
- $\bigcup_{j \in J} S_{jk}$  : l'ensemble des services accessibles par l'opérateur  $u_k$ ,
- $\{m_j / \exists Y_{ik} \neq 0, i \in I_j\}$  : l'ensemble des modes d'utilisation comportant au moins un service accessible à l'opérateur  $u_k$ .

On remarquera également que :

$$- S_j = \bigcup_k S_{jk}$$

En fait, un utilisateur demande un service dans un mode d'utilisation donné au moyen d'une requête, via un moyen de transmission  $tr$ . Soit  $T$ , l'ensemble des moyens de transmission.

Par exemple,  $T = \{\text{face avant, liaison locale, liaison distante}\}$ .

A chaque  $s_i \in S_{jk}$ , correspond(ent) un (ou plusieurs) moyens de transmission. Par conséquent, le tableau V.5 donnant la liste des utilisateurs ayant accès à un service donné dans un mode d'utilisation donné peut être complété en précisant par quel(s) moyen(s) de transmission l'utilisateur  $u_k$  a accès au service  $s_i$  dans le mode d'utilisation  $m_j$ . On obtient alors le tableau V.5 où  $Y_{ik}$  définit maintenant l'ensemble des moyens de transmission autorisés :

$$Y_{ik} = \{tr_1, \dots, tr_p\}$$

$$Y_{ik} \in \mathcal{P}(T) \text{ où } \mathcal{P}(T) \text{ est l'ensemble des parties de } T.$$

utilisateurs	$u_1$	...	$u_k$	...
services				
$s_1$	$\emptyset$	...	$tr_1..tr_p$	...
...	...	...	...	...
$s_i$	$tr_1, tr_2$	...	$tr_3$	...
...	...	...	...	...

Tableau V.5 : Moyens d'accès aux services.

On remarquera que l'information contenue dans le tableau V.5 inclut celle fournie par le tableau V.4.

Les moyens d'accès à un service par un utilisateur conduisent au fait qu'un service disponible est actif dès qu'une troisième condition est vérifiée : la requête relative à son exécution a été présentée et est valide (origine et mode de transmission autorisés). Il restera inactif dans les cas contraires.

La conjonction des trois conditions :

- le service appartient au mode d'utilisation courant,
- il existe une version du service n'utilisant que des ressources disponibles,
- le service est demandé par un utilisateur et via un moyen de transmission autorisés,

constitue la condition d'activation d'un service. L'ensemble des services actifs est représenté figure V.10.

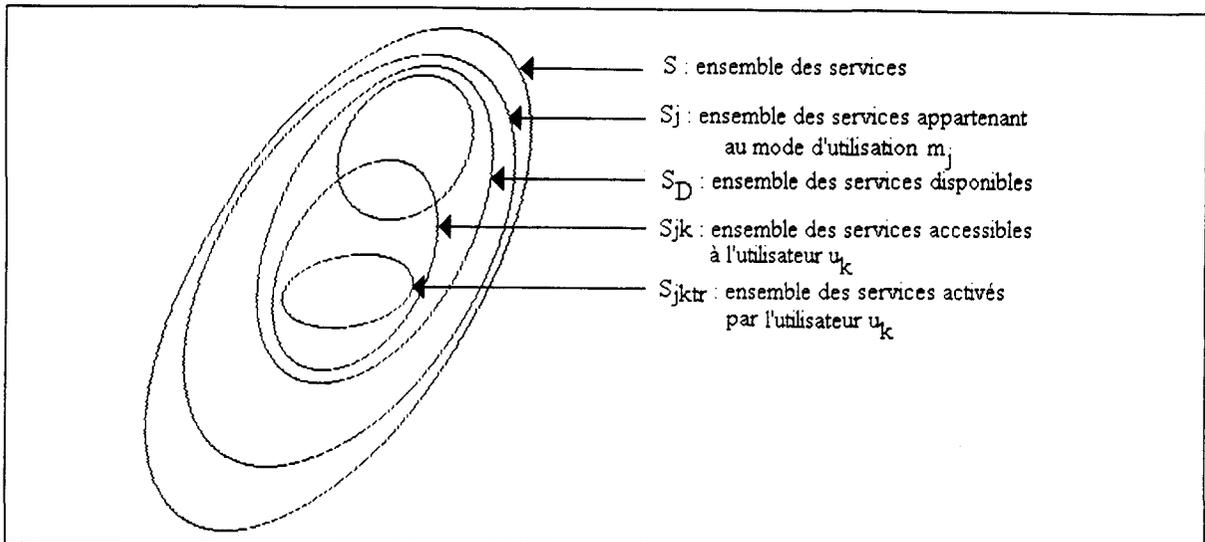


Figure V.10 : Ensemble des services actifs.

### **5.4.3 : L'exécution d'un service**

Il ne suffit pas qu'un service soit activé, pour qu'il soit exécuté. En effet, lorsque plusieurs services sont simultanément demandés, la limitation de la capacité de traitement parallèle fait qu'ils ne peuvent être simultanément exécutés. A un moment donné, parmi les services actifs, un seul est généralement exécuté, les autres sont en attente. C'est le rôle d'un module de gestion spécifique : l'ordonnanceur, que de sélectionner, à la fin de l'exécution d'un service en cours, le service suivant à mettre en exécution parmi la liste des services qui sont en attente. L'affectation des niveaux de priorité dépend des stratégies adoptées. A priorités égales, l'ordre d'exécution des services peut être défini par des stratégies de gestion de files d'attentes (premier demandé-premier servi, temps partagé, etc.)

L'évaluation des conditions d'activation puis des conditions d'exécution de la liste des services disponibles établie par le module Gérer les modes de marche est réalisée par le module Gérer les activités. La gestion des activités se décompose en deux niveaux.

- Le premier niveau constitue la liste des services en attente d'exécution. Pour ce faire, il évalue pour chacun des services disponibles du mode d'utilisation en cours, sa condition d'activation. Celle-ci est le produit logique, rappelons le, de trois termes :
  - requête présente : le service a-t-il été demandé ?
  - origine autorisée : l'entité ayant demandé le service était-elle autorisée à le faire ?
  - mode de transmission autorisé : le mode de transmission de la requête correspond-il à un moyen de dialogue autorisé ?

- Le deuxième niveau des mécanismes de gestion des activités recouvre la tâche d'ordonnancement qui détermine à un instant donné, le service en exécution parmi la liste des services en attente. Lorsque l'exécution d'un service se déroule sans qu'elle puisse être suspendue (pour exécuter entre-temps un service de priorité plus importante, par exemple), le service est dit non préemptif. Dans le cas contraire, services préemptifs, l'ordonnanceur gère non seulement la liste des services en attente mais également la liste des services suspendus.

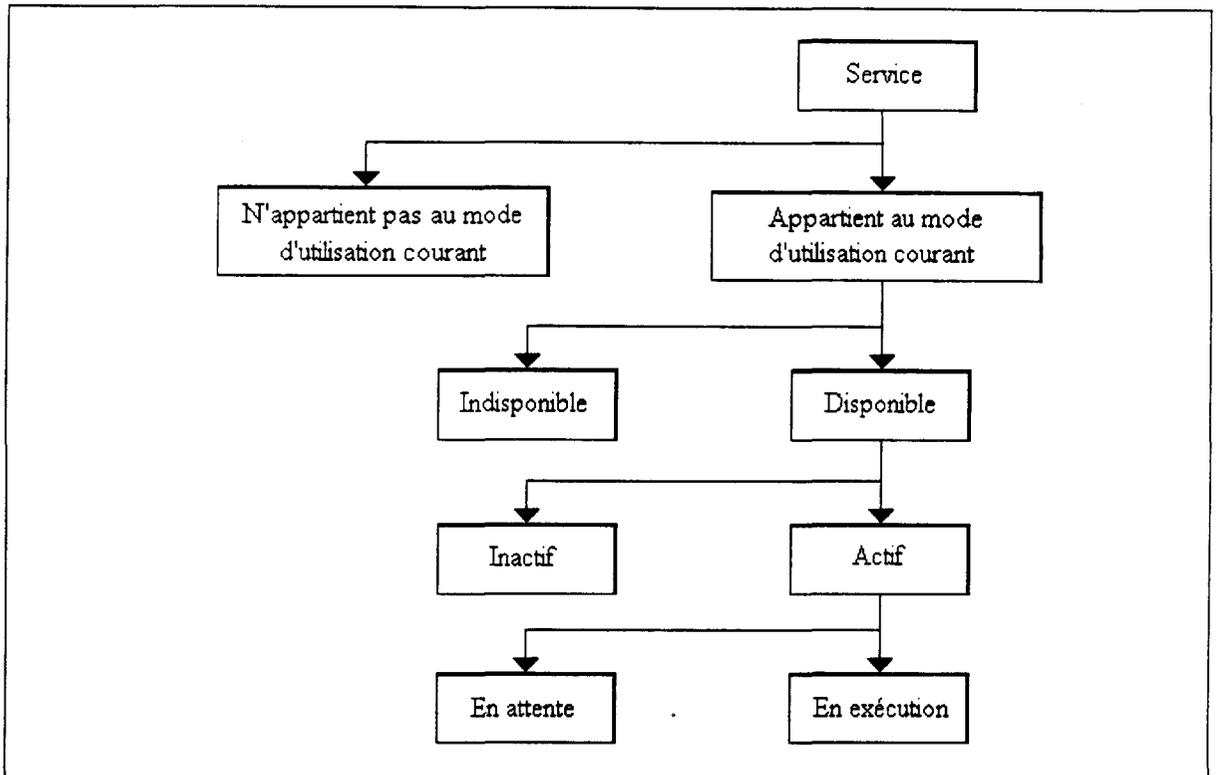


Figure V.11 : Etats d'un service.

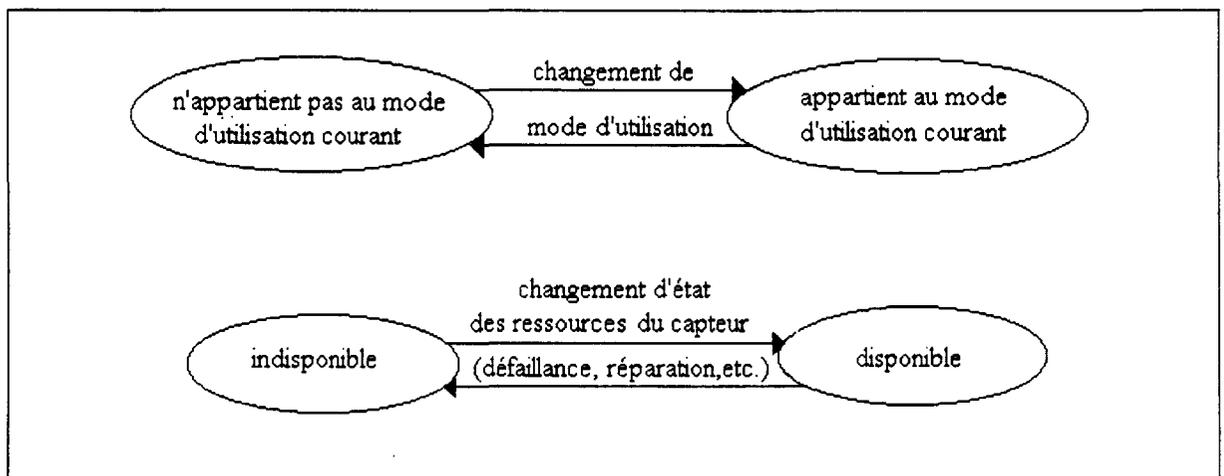


Figure V.12 : Mécanismes de transition entre états (gestion des modes de marche).

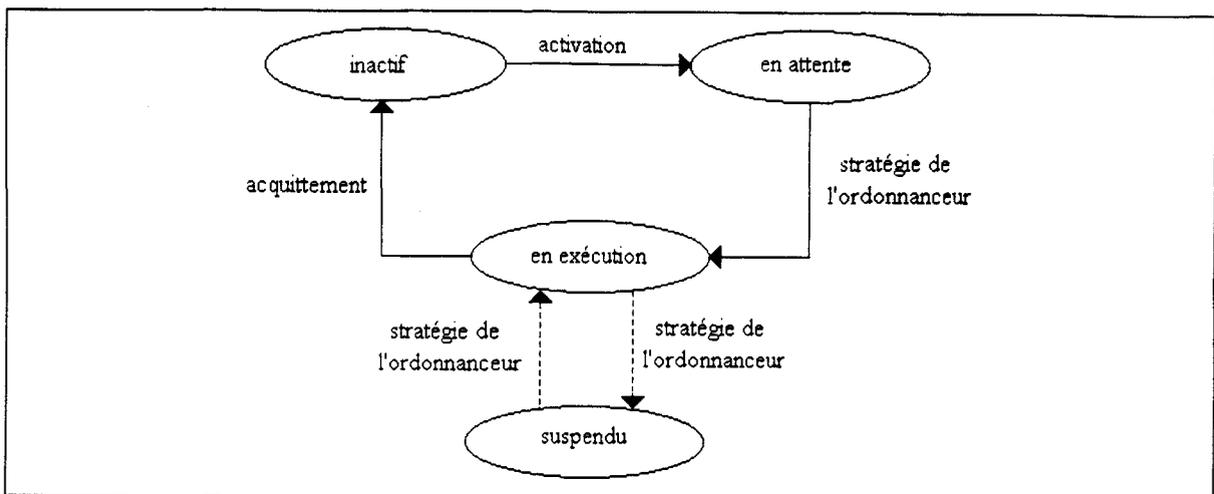


Figure V.13 : Mécanismes de transition entre états (gestion des activités).

Jusqu'à maintenant, nous avons supposé qu'un service disponible passe en attente dès qu'il est demandé, en exécution lorsque l'ordonnanceur le décide et devient inactif lorsque l'exécution est terminée (voir figures V.11, V.12 et V.13). Toute exécution supplémentaire doit faire l'objet d'une autre requête (sous l'hypothèse que le service reste disponible). Or, il peut être intéressant dans un langage de commande d'instruments de terrain, de gérer l'exécution des services dans le temps. Cette gestion couvre deux aspects :

- la localisation du service,
- la répétition (durée) du service.

#### **5.4.3.1 : La localisation d'un service**

Dans certains cas, il peut être utile de situer dans le temps l'exécution de la requête, c'est-à-dire de fournir à l'ordonnanceur des indications pour contrôler l'instant de passage du service de l'état *en attente* à l'état *en exécution*. Ainsi, un service pourra être demandé non seulement au moyen d'une requête d'exécution immédiate mais aussi par une requête d'exécution différée. L'instant d'exécution peut, pour sa part, être défini de façon explicite par la donnée d'une date, ou encore de façon implicite, par la donnée d'une expression dont il conviendra de tester la valeur de vérité, ce dernier cas autorisant, par exemple, la synchronisation d'équipements sur des événements externes.

#### **Remarque :**

L'exécution d'une requête différée ne modifie pas le schéma de gestion des états de la figure V.13, car elle ne fait qu'ajouter le test d'une condition d'exécution (portant sur un

instant explicite ou implicite) aux traitements qui réalisent la stratégie de l'ordonnanceur.

### **5.4.3.2 : La répétition d'un service**

Il est également souhaitable de prévoir la possibilité de multiples exécutions successives d'un service, c'est-à-dire la possibilité qu'un service retourne dans l'état *en attente* (au lieu de *inactif*) sur l'acquittement, sans qu'il soit nécessaire pour cela de présenter à nouveau, à chaque fois, la requête associée. Le nombre d'exécutions, ou la durée d'exécution devient alors un deuxième paramètre, qu'il convient d'ajouter au paramètre de localisation.

Pour introduire la possibilité d'exécution répétée d'un service, le schéma de gestion des états de la figure V.13 doit être modifié, en ajoutant la possibilité qu'un service retourne dans l'état en attente, après exécution, aussi longtemps que l'événement de "fin d'exécution continue" ne sera pas survenu. Pour un tel service le schéma de la figure V.13 devient celui de la figure V.14.

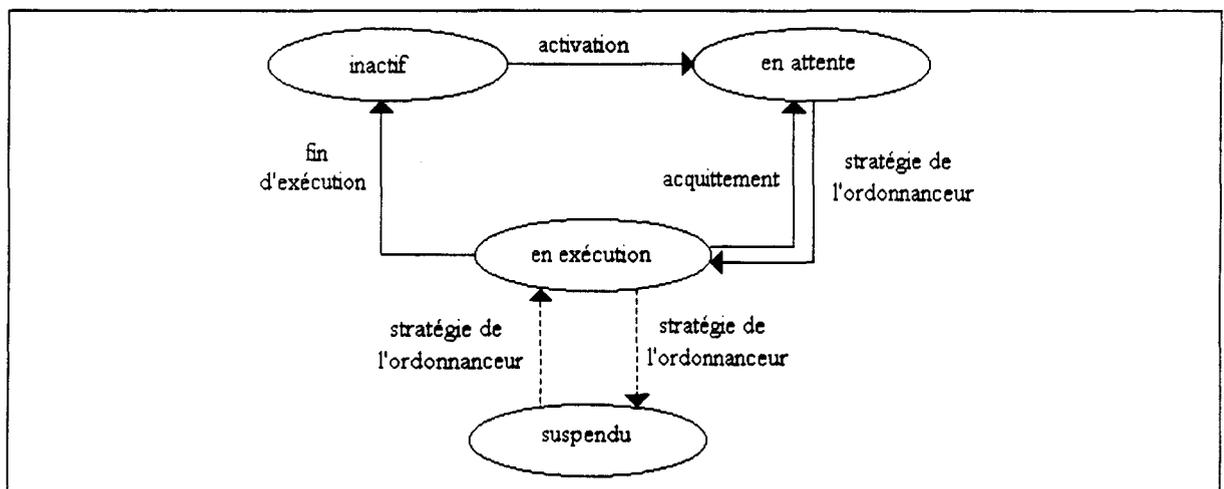


Figure V.14 : Mécanismes de transition entre états pour la répétition d'un service.

### **5.4.3.3 : Les requêtes implicites**

Dans certains modes d'utilisation, il peut exister des services dont l'exécution est systématique lorsque le système se trouve dans ce mode, par exemple : service d'acquisition et de traitement des grandeurs mesurées en mode "Mesurage automatique". Pour de tels services, il n'existe pas de requêtes explicites, la condition d'activation se confond avec l'entrée dans le mode correspondant et c'est la requête d'abandon du mode qui désactive le service.

## **5.5 : Conclusion**

Le langage D.D.L. et la décomposition en blocs exécutifs sont des approches essentiellement orientées vers une description standardisée des variables produites et consommées ainsi que des services rendus, afin de faciliter la communication entre instruments intelligents. Cependant, la codification du langage permettant d'accéder aux données et aux services ne permet pas de garantir totalement l'interopérabilité. En effet, il ne suffit pas qu'une requête envoyée par A puisse être comprise par B pour être exécutée, encore faut-il que B soit dans un mode de fonctionnement tel qu'il puisse exécuter cette requête.

Dans ce sens, l'organisation des services en modes d'utilisation constitue un précieux moyen de structuration du fonctionnement d'un instrument intelligent. A un moment donné, l'instrument n'accepte que les requêtes de services cohérents avec son mode d'utilisation, émanant d'une entité autorisée et transitant par un moyen de communication approprié, ce qui accroît sa sûreté de fonctionnement.

Par ailleurs, l'introduction de la notion de service dégradé permet d'augmenter la disponibilité de l'instrument intelligent puisque la défaillance de certaines ressources n'implique pas forcément l'interruption des services qui les utilisent. La liste des services disponibles et de leur version est fournie à chaque instant par le module Gérer les modes de marche.

Ainsi, en ajoutant au langage de commande standardisé, une codification de l'organisation des services, on s'oriente vers la définition d'une réelle interopérabilité des instruments puisque non seulement les requêtes sont exprimées dans un langage commun mais chaque entité a également la possibilité d'adapter ses demandes en fonction du mode de fonctionnement actuel des autres instruments. Dans ce sens, nous poursuivons ce travail de manière à compléter le modèle par un langage d'interopérabilité. Pour cela, nous tenons compte d'une part, des propositions de D.D.L., en les complétant par les nouvelles fonctionnalités de gestion des services, d'autre part, nous nous intéressons aux travaux World FIP, basés sur ISA SP 50 qui mettent en oeuvre une approche reposant sur la description par blocs fonctionnels.



## **Conclusion de la 2ème partie**

Dans la première partie de ce mémoire, en considérant le capteur selon trois points de vue : capteur objet finalisé, capteur constituant d'un système d'automatisation et capteur objet industriel, nous avons défini, un ensemble de fonctions qu'il serait utile d'intégrer à un capteur de façon à obtenir, par la réalisation de nouveaux services, un instrument qui réponde le mieux possible aux besoins des utilisateurs.

Dans cette seconde partie, nous apportons les éléments nécessaires à la mise en oeuvre et à l'utilisation du nouvel instrument attendu. L'analyse fonctionnelle présentée chapitre 4, décrit les traitements à implanter ainsi que leur organisation pour obtenir la réalisation des services. En ne nous limitant pas à un domaine particulier, nous avons abouti à une représentation générique du fonctionnement interne du capteur. Cette représentation de l'ensemble des traitements à implanter ainsi que leur organisation, constitue d'une part, un outil essentiel à la conception et à la mise en oeuvre de cette nouvelle génération de capteurs intelligents et d'autre part, un moyen de spécification et de qualification de tout capteur réel regroupant, selon les exigences de l'application, un sous-ensemble des fonctions définies.

Le modèle externe, en définissant le langage et le protocole de commande de l'instrument constitue un guide à l'utilisation du capteur. Le langage de commande regroupe l'ensemble des requêtes comprises par l'instrument intelligent, alors que le protocole de commande précise leurs conditions d'emploi. Les propriétés d'interopérabilité et d'interchangeabilité des instruments reposent non seulement sur la définition d'un langage de commande standardisé ou normalisé mais également sur une structuration commune du protocole de commande permettant à chaque utilisateur (opérateur ou automatisme) de savoir si oui ou non sa requête sera exécutée compte tenu des conditions de fonctionnement actuelles du destinataire.

Ces deux représentations du capteur intelligent, fonctionnement interne et services rendus montrent que les apports d'une instrumentation intelligente sont réels et réalisables. C'est ce que nous avons voulu montrer, dans la troisième partie de ce mémoire en instanciant les modèles obtenus dans le cadre d'une application au domaine du Génie Biologique et Médical.



# **3ème partie**

## **Application à la surveillance de l'anesthésie**

Dans le premier chapitre, nous avons considéré le capteur comme une entité isolée. Nous avons vu qu'en lui associant une unité de traitement numérique, il était possible d'accroître ses performances. Le chapitre suivant a placé le capteur au sein d'un système de production. Nous avons alors montré qu'un capteur pouvait utiliser des grandeurs produites par d'autres entités pour valider ses propres données et générer des informations élaborées. Nous sommes donc passés tout naturellement de la notion de capteur à celle de multicapteur intelligent. L'architecture matérielle peut bien sûr prendre plusieurs formes, par exemple :

- les transducteurs et l'unité de traitement sont rassemblés en un instrument unique, les grandeurs physiques traitées sont alors issues uniquement de la fonction Acquérir,
- les capteurs transmettent leurs grandeurs à une unité centrale de traitement, les grandeurs physiques parviennent alors au module de traitement via la fonction Interfacier en entrée,
- l'instrument est connecté sur le bus de terrain, une partie des grandeurs traitées est générée par des capteurs extéroceptifs et est acheminée via le réseau.

Mais quelle que soit l'architecture de ce multicapteur, il apparaît d'ores et déjà qu'elle peut être décrite par tout ou partie des fonctions de l'analyse présentée chapitre 4. Le multicapteur, comme le capteur, est bien sûr capable de réaliser des services, accessibles à un ensemble d'utilisateurs. Il est donc possible de le décrire selon le modèle externe présenté chapitre 5.

Les modèles présentés étant génériques c'est-à-dire non liés au contexte d'application, nous avons essayé de les mettre en oeuvre sur un exemple hors du domaine du contrôle des processus industriels. Un des intérêts de l'exemple est que le multicapteur possède un

environnement simplifié. Il est possible de le considérer comme un instrument isolé. Ceci nous a permis de nous consacrer uniquement à l'amélioration des fonctions d'un capteur.

Dans ce sens, les résultats obtenus sont appliqués à la conception et à la réalisation d'un multicapteur dédié à la surveillance de l'anesthésie où la principale difficulté résulte actuellement du fait que chaque grandeur servant à l'évaluation de l'état du malade est mesurée et représentée isolément [LOGI 92]. Ainsi, en associant ces signaux isolés recueillis sur le malade à un niveau logiciel et en implantant les fonctionnalités du capteur intelligent décrites dans les chapitres précédents, nous réalisons un monitoring intelligent qui apporte une aide réelle aux anesthésistes.

## Chapitre 6

# Réalisation d'un multicateur dédié à la surveillance de l'anesthésie

### 6.1 : Introduction

Les drogues injectées durant l'anesthésie ont pour conséquence de ralentir les fonctions assurées par les systèmes respiratoire et circulatoire. Il s'ensuit que l'apport en oxygène au niveau du coeur, du cerveau, des reins, etc. est diminué. Or, un apport en oxygène insuffisant au niveau de ces organes vitaux présente un risque important pour le patient, qu'il convient de surveiller très attentivement [GRAV 88]. De plus, dans la plupart des anesthésies générales, pour ne pas ressentir la douleur et pour faciliter le travail du chirurgien, les patients sont dans un état de paralysie dû à l'effet bloquant des drogues sur les fonctions musculaires. Par conséquent, les malades ne peuvent plus respirer par eux mêmes et sont tributaires d'une ventilation mécanique assurée par un moyen externe [KAFE 88].

De ce fait, l'anesthésiste se pose durant l'intervention un ensemble de questions telles que :

- Les poumons du patient sont-ils correctement ventilés ?
- La composition des gaz respiratoires est-elle correcte ?
- Le coeur assure-t-il ses fonctions d'une façon satisfaisante ?
- Le cerveau est-il correctement irrigué ?
- L'anesthésie est-elle suffisamment profonde ?
- Etc..

La réponse à ces questions se déduit principalement de la surveillance de deux fonctions vitales :

- la fonction respiratoire,
- la fonction circulatoire.

Chaque fonction est évaluée à partir de la mesure d'un ensemble de paramètres caractéristiques. Par exemple, pour la fonction cardiaque, ce sont, entre autres :

- la morphologie de l'électrocardiogramme,
- la fréquence cardiaque,
- les pressions artérielles systolique, moyenne et diastolique,
- le taux d'oxygène dans le sang.

Ces différents paramètres sont actuellement fournis via différents instruments à l'anesthésiste qui suit leur évolution pendant l'intervention et adapte sa décision. Pour faciliter cette tâche et maîtriser de nouvelles techniques chirurgicales, il est nécessaire de développer des outils et des traitements permettant :

- d'améliorer les conditions de l'intervention aussi bien pour le médecin que pour le patient. Par exemple, le travail du chirurgien se trouve facilité, si le patient est détendu et saigne peu. De même, l'anesthésie doit être suffisamment profonde pour que le patient ne ressente pas la douleur mais pas trop profonde pour que l'intégrité de ses fonctions vitales soit préservée,
- d'avoir un suivi du geste médical et de ses conséquences. Par exemple, lorsqu'un cardiologue gonfle un ballonnet pour dilater une artère coronaire d'un malade, il doit avoir à chaque instant une évaluation du risque d'infarctus encouru par celui-ci [LOGI 91],
- d'optimiser la sécurité du patient en fournissant à chaque instant des informations directement représentatives de son état et de l'état du matériel.

Ces progrès ne peuvent être obtenus que par l'implantation de traitements adéquats, à partir de variables mesurées sur le patient.

Actuellement, l'insuffisance majeure du suivi de l'anesthésie résulte du fait que chaque information est recueillie et représentée isolément sans prendre en compte les variations des autres signaux ni l'administration de médicaments. Il s'ensuit qu'aucune information directement représentative de l'état du patient n'est fournie à l'anesthésiste (tout le travail d'estimation des fonctions vitales est à sa charge). De même, les procédures de validation sont appliquées séparément sur chaque signal et se résument à des tests d'appartenance à un intervalle donné.

Ces problèmes de validation de données et d'élaboration d'informations ne sont pas spécifiques à l'anesthésie. Nous avons vu dans les chapitres précédents que la supervision des processus industriels fait apparaître des besoins similaires et que la conception d'architectures basées sur le concept d'automatisation intelligente et de distribution des traitements est une réponse à ces attentes.

Les problèmes étant similaires, nous nous sommes intéressés à la surveillance de l'anesthésie, et à partir du modèle générique de surveillance développé, nous avons réalisé un multicateur intelligent. Nous verrons que par certains aspects, cet exemple est plus simple que d'autres que l'on aurait pu trouver dans les systèmes automatisés de production mais il nous a permis de réaliser une première implantation complète du modèle développé.

## **6.2 : L'architecture matérielle**

### **6.2.1 : L'existant**

Actuellement, nous disposons pour réaliser le suivi de l'anesthésie d'un ensemble de capteurs qui mesurent un ou plusieurs paramètres physiologiques. La chaîne d'élaboration de la grandeur physiologique est plus ou moins compliquée. Elle peut faire appel à un actionneur (mesure de la pression artérielle par gonflage d'un brassard) et/ou à une unité de traitement numérique (évaluation de la fréquence respiratoire à partir de la courbe de variation de la concentration en CO<sub>2</sub> du gaz expiré). Les capteurs dont les valeurs servent à caractériser une même fonction vitale, par exemple, un capteur paramagnétique pour la mesure de la concentration en oxygène dans les gaz respiratoires, un photomètre pour l'analyse de la concentration en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, agents anesthésiques, sont regroupés dans un même appareil appelé moniteur. Le terme moniteur s'applique également aux capteurs qui servent à évaluer plusieurs paramètres, par exemple : moniteur de tension artérielle mesurant les pressions systolique, moyenne, diastolique et le pouls. Le moniteur intègre en plus des fonctions d'acquisition, des fonctions d'interfaçage en entrée (saisie de seuils d'alarme), d'interfaçage en sortie (alarmes, affichage numérique de la valeur des paramètres mesurés) et de traitement (mémorisation des seuils d'alarme, vérification des conditions de seuil, gestion de l'affichage).

Les moniteurs réalisent, par l'intermédiaire des capteurs qu'ils intègrent, l'acquisition des grandeurs physiologiques. Ils participent à l'élaboration de la base de données brute. Une analyse des besoins par dialogue avec les anesthésistes a permis de savoir qu'ils trouvaient intéressants de disposer de traitements permettant :

- d'enrichir la base de données brute en intégrant les quantités de médicament injectées,

- de valider les informations à un niveau supérieur pour différencier un dysfonctionnement d'un appareil d'un réel changement de l'état du patient,
- d'élaborer des informations synthétiques résumant les états du malade et de l'ensemble des appareils,
- d'offrir de nouveaux services aux utilisateurs tels que le suivi de l'évolution de la différence entre les valeurs de la pression artérielle moyenne et la pression intracrânienne, la suggestion d'une consigne de débit pour une seringue autopulsée ou tout simplement l'élaboration automatique de la feuille d'anesthésie.

C'est pour répondre à ce besoin que nous proposons de réaliser un multicateur intelligent : multicateur car il s'appuie sur un ensemble de signaux, intelligent car il intègre des fonctions de surveillance, d'élaboration de données, de validation ....

### **6.2.2 : Les contraintes et exigences**

Outre le fait qu'elle doit permettre l'implantation des traitements permettant de répondre aux besoins, l'architecture matérielle doit également être choisie de façon à répondre à un certain nombre de contraintes et d'exigences.

La principale contrainte est que dans le milieu médical, et plus particulièrement dans le domaine de l'anesthésie, il est absolument interdit d'utiliser un appareil modifié si ce dernier n'a pas auparavant satisfait à une procédure d'homologation. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous avons rejeté l'idée d'intervenir directement au niveau des capteurs ou des moniteurs, d'autant plus qu'à l'heure actuelle, la plupart des moniteurs sont munis d'une sortie numérique (le plus souvent de type RS 232) qui permet d'accéder facilement aux valeurs des grandeurs mesurées. Les autres exigences auxquelles le multicateur intelligent doit se conformer sont les suivantes :

- les données doivent être traitées en temps réel. En effet, un anesthésiste ne peut pas se satisfaire d'une information donnée en temps différé, c'est au moment où l'événement se produit qu'il doit en avoir connaissance,
- le système doit intégrer des capacités de mémorisation non seulement des données brutes (pour des raisons médico-légales) mais également des données validées et des informations élaborées. Une possibilité de sauvegarde périodique sur support externe doit être envisagée. De plus, pour chaque patient et à chaque intervention les médecins souhaitent avoir sur papier un compte-rendu de l'anesthésie,

- les informations produites, les événements ... doivent être clairement communiqués à l'anesthésiste, de préférence affichés sur une console de visualisation,
- l'utilisation du système doit être aussi simple que possible et ne demander qu'un minimum d'actions de la part de l'anesthésiste.

### **6.2.3 : La solution retenue**

Compte tenu de ces exigences, nous avons retenu la solution ordinateur de type PC AT 386 DX muni d'une carte multivoies séries et d'une carte de conversion analogique numérique pour éventuellement travailler directement sur des signaux analogiques (par exemple, électrocardiogramme, pression intracrânienne). Cette solution répond aux contraintes et exigences puisque :

- elle permet de connecter plusieurs moniteurs, donc plusieurs sources d'informations via les liaisons RS 232,
- elle offre des capacités de traitement numérique et suffisamment de mémoire pour archiver les données,
- elle permet une sauvegarde périodique des données sur supports externes,
- une imprimante peut être facilement connectée et par conséquent les comptes-rendus d'anesthésie imprimés,
- la console de visualisation (écran super VGA couleur) permet une représentation conviviale des données,
- la souris et le clavier permettent la saisie des informations en provenance du personnel médical (par exemple : nom du patient, quantité de soluté injectée à l'instant t, etc.).

L'architecture de ce système est représentée figure VI.1.

Les moniteurs réalisent l'acquisition des grandeurs physiologiques et quelques fonctions de validation (validation technologique, vérification des seuils d'alarme). La communication avec les moniteurs est réalisée par des liaisons point à point. Elle repose sur les possibilités de visualisation, le clavier et la souris du côté opérateur. Les autres fonctions, élaboration d'informations, surveillance, gestion de la base de données, gestion des activités, etc. sont implémentées au niveau de l'unité centrale de traitement matérialisée par le PC. La conception du multicateur de surveillance de l'anesthésie est basée sur les modèles définis dans les chapitres précédents : le modèle externe décrit les règles d'utilisation de ce système et ce que l'on peut en attendre, le modèle interne explique sur quels traitements repose la réalisation des services. Ce sont ces deux modèles que nous présentons dans la suite.

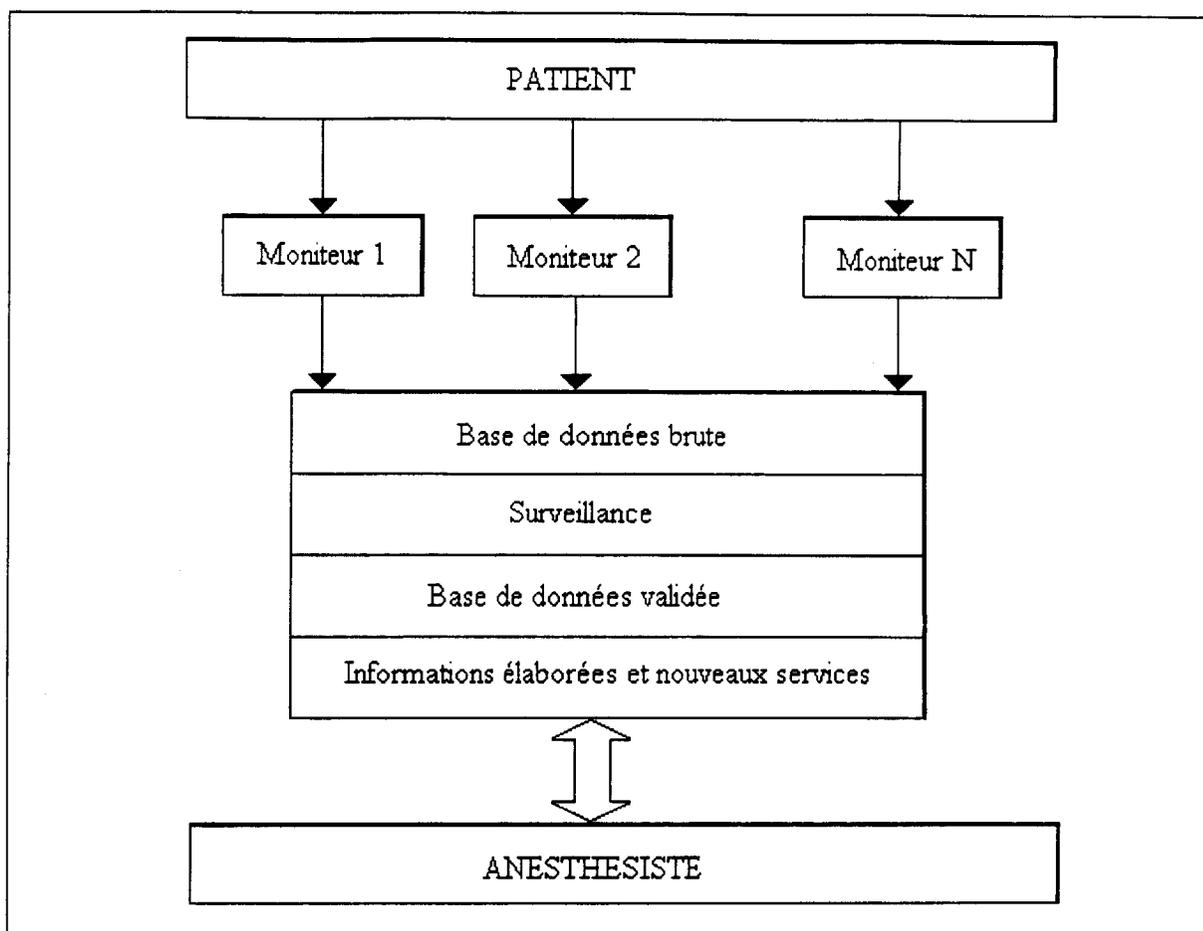


Figure VI.1 : Architecture du multicapteur dédié à l'anesthésie.

### **6.3 : Le modèle externe**

Le modèle externe en décrivant la liste des services accessibles et leurs conditions d'accès constitue un guide à l'utilisation du multicapteur. Chaque utilisateur, dans une situation donnée, sait alors ce qu'il peut attendre du multicapteur.

#### **6.3.1 : Les utilisateurs**

Nous avons distingué, en fonction de leur rôle dans le cycle de vie du multicapteur, quatre grands types d'utilisateurs :

- le configureur-installateur,
- l'anesthésiste,
- l'opérateur de gestion technique,

- l'opérateur de maintenance.

### ☞ **Le configurateur-installateur**

Le configurateur-installateur prend en charge les étapes de la vie du multicateur depuis la configuration de la technologie jusqu'à sa mise en service sur site. Certaines tâches sont liées au matériel (implantation des cartes, connectique), d'autres sont logicielles. Le configurateur a alors pour rôle :

- de définir la liste des appareils connectables,
- de définir pour chaque appareil connectable :
  - . le protocole de communication,
  - . les paramètres qui permettent d'extraire l'information utile des signaux envoyés,
- de définir la structure des fichiers dédiés à l'enregistrement des données.

### ☞ **L'anesthésiste**

L'anesthésiste et le personnel médical associé sont normalement les utilisateurs principaux du multicateur. Ils ont la possibilité :

- de choisir un sous-ensemble d'appareils parmi ceux définis connectables par le configurateur-installateur, en fonction de la nature de l'intervention,
- de réaliser un enregistrement automatique. On englobe sous ce terme :
  - . l'acquisition et le traitement en continu des grandeurs envoyées par les moniteurs,
  - . la saisie manuelle d'un événement (intubation, incision, saignement ...),
  - . la saisie manuelle d'une quantité de drogue injectée,
  - . la définition des paramètres d'identification d'une session (nom, prénom, âge ... du patient, type d'intervention, noms des chirurgiens et anesthésistes),
  - . l'élaboration d'informations (courbes de tendance, anomalies détectées ...),
  - . la mémorisation des grandeurs physiologiques et des informations élaborées,
- de visualiser un enregistrement réalisé antérieurement,
- d'imprimer un compte-rendu d'anesthésie.

### ☞ **L'opérateur de gestion technique**

L'opérateur de gestion technique a pour mission :

- de réaliser périodiquement des sauvegardes sur disquettes des fichiers patients (données d'un enregistrement automatique),
- d'assurer la maintenance du disque dur (suppression des fichiers qui viennent d'être sauvegardés).

### ☞ **L'opérateur de maintenance**

L'opérateur de maintenance est la personne qui intervient en cas d'anomalie. Il a la possibilité :

- d'exécuter des tests de communication et d'imprimante,
- de lire le contenu de la base de données pour essayer de localiser les problèmes,
- de mémoriser un résumé de son intervention (date et nature de l'intervention),
- de visualiser et d'imprimer les comptes-rendus des interventions antérieures.

De cette première analyse, il ressort que chaque utilisateur a des fonctions bien spécifiques qui correspondent chacune à une utilisation spécifique du multicapteur. Ainsi, il devient possible de définir un certain nombre de modes d'utilisation.

### **6.3.2 : Les modes d'utilisation**

Selon la phase de vie dans laquelle il se situe et en fonction de ce qu'en attend l'utilisateur, le multicapteur peut être dans l'un des modes d'utilisation suivants :

- Initialisation,
- Configuration,
- Enregistrement,
- Lecture d'enregistrement,
- Gestion de fichiers,
- Maintenance,
- Hors service.

#### ☞ **Initialisation**

C'est dans le mode d'utilisation *Initialisation* que sont définis tous les paramètres qui permettent de recueillir les données des moniteurs et d'enregistrer les différentes informations. Ces paramètres constituent la partie statique de la base de données (voir paragraphe 6.3.4). Le multicapteur est dans le mode d'utilisation *Initialisation* lors de sa toute première utilisation puis à chaque fois que la configuration matérielle est modifiée (ajout ou suppression d'un appareil connectable).

#### ☞ **Configuration**

Le mode *Configuration* permet à l'utilisateur de définir la liste des appareils utilisés pendant la session. Une session correspond à une intervention sur un malade (du début de l'anesthésie jusqu'au réveil du patient). Dans ce mode, l'utilisateur déclare quels sont les appareils

connectés et sur quelles voies. Il peut également vérifier la liste des grandeurs mesurées par chaque appareil. Le mode *Configuration* sera donc appelé à chaque début de session.

### ☞ **Enregistrement**

Dans le mode d'utilisation *Enregistrement*, l'acquisition, le traitement et l'enregistrement des signaux envoyés par les moniteurs sont réalisés en continu. L'utilisateur intervient pour fournir des données supplémentaires (date et nature d'un événement, date et nature d'une injection, paramètres d'identification de la session) qui serviront à l'élaboration d'informations, elles même mémorisées.

### ☞ **Lecture d'enregistrement**

En mode lecture d'enregistrement, l'utilisateur a la possibilité de rechercher un dossier patient. Un dossier patient correspond à un compte-rendu synthétique des données mémorisés au cours d'une session. Il permet d'avoir une trace de l'évolution de l'anesthésie. Ce dossier patient est visualisé et éventuellement imprimé.

### ☞ **Gestion de fichiers**

Le mode d'utilisation *Gestion de fichiers* est utilisé pour gérer les fichiers contenant les données mémorisées pendant le mode *Enregistrement*. Dans ce mode, l'utilisateur a accès à la liste des fichiers patients (à chaque session correspond un fichier dont le nom est défini de façon automatique à partir de la date et de l'heure de début de session). Son rôle est de transférer une partie des fichiers patients du disque dur, vers des disquettes. L'appel au mode d'utilisation *Gestion de fichiers* dépend de la fréquence et de la durée des sessions (volume total des données enregistrées).

### ☞ **Maintenance**

Le mode d'utilisation *Maintenance* est appelé en cas d'anomalie, par exemple : l'appareil connecté n'envoie pas ses données de la façon dont elles sont attendues, l'envoi d'un fichier vers l'imprimante n'aboutit pas, la sauvegarde sur disquettes échoue, etc..

### ☞ **Hors service**

Ce mode d'utilisation est un cas particulier puisqu'il correspond à une situation où le multicateur n'est pas utilisé et donc ne rend aucun service. Il sera donc toujours considéré comme tel dans la suite. C'est pourquoi, il ne sera pas systématiquement traité au même titre que les autres dans la suite.

Nous pouvons d'ores et déjà constater que notre application est un cas particulier car chaque mode d'utilisation est associé à un seul utilisateur selon les correspondances données par le tableau VI.1. Par contre pour d'autres applications, il est tout à fait possible qu'un mode d'utilisation soit accessible par plusieurs utilisateurs. Chaque utilisateur a accès pour ce même mode d'utilisation à un ensemble de services qui peut être différent (voir paragraphe 6.4.3). Le cas particulier de notre application résulte du fait que deux utilisateurs ne peuvent pas accéder en même temps au multicateur.

Le choix d'un mode d'utilisation émane de l'utilisateur. Le changement de mode d'utilisation est réalisé par un service spécifique demandé au moyen d'une requête. La requête est prise en compte si elle vérifie les conditions de passage d'un mode d'utilisation à un autre (condition logique entre le mode d'origine, le mode de destination et l'origine de la requête (utilisateur)).

utilisateurs	configurateur installateur	anesthésiste	opérateur de gestion technique	opérateur de maintenance
modes d'utilisation				
initialisation	X			
configuration		X		
enregistrement		X		
lecture d'enregistrement		X		
gestion de fichiers			X	
maintenance				X

X : le mode d'utilisation est accessible par l'utilisateur

Tableau VI.1 : Droit d'accès aux modes d'utilisation.

### **6.3.3 : La base de données**

A chaque mode d'utilisation est associé un ensemble de services conduisant chacun à un résultat déterminé. Le résultat se traduit par une modification du contenu de la base de données et/ou par un signal sur l'une des interfaces de sortie (imprimante, console de visualisation). La base de données peut être découpée en trois parties :

- la partie statique,
- la partie semi-statique,
- la partie dynamique.

### ☞ **La partie statique**

La partie statique de la base de données comprend l'ensemble des données qui sont initialisées par le configurateur-installateur. Ces données ne sont modifiées que si l'environnement du multicateur l'est (par exemple : ajout ou suppression d'un appareil connectable). Ces données sont :

- la liste des appareils connectables,
- la liste des grandeurs physiologiques mesurables par chaque appareil,
- les paramètres de traitement des signaux,
- les protocoles de communication de chaque appareil,
- le dictionnaire des événements possibles,
- le dictionnaire des drogues injectables,
- les paramètres de structure des fichiers d'enregistrement.

### ☞ **La partie semi-statique**

La partie semi-statique de la base de données inclut les données qui sont modifiées à chaque session. Ces données sont :

- les données relatives à la définition de la configuration d'une session : liste des appareils utilisés pendant l'intervention et liste des voies qui leur ont été attribuées,
- la liste des fichiers patients,
- le volume total des fichiers patients,
- les données d'identification de la session (nom, prénom, âge, sexe du patient, nature et date de l'intervention, noms des anesthésistes et chirurgiens).

### ☞ **La partie dynamique**

La partie dynamique de la base de données rassemble les données qui sont relatives à un enregistrement. Ces données sont :

- les valeurs des grandeurs physiologiques brutes mesurées par les moniteurs,
- les valeurs des grandeurs physiologiques validées,
- les grandeurs élaborées,
- le nom, la quantité, l'instant d'injection d'une drogue,
- la nature, l'instant d'un événement (suture, intubation, incision ...).

Les données sont manipulées par les services dans un mode d'utilisation précis et par un utilisateur déterminé. Le tableau VI.2 définit quelles sont les données accessibles soit en lecture, soit en écriture, pour chaque utilisateur et dans chaque mode d'utilisation.

modos d'utilisation données	initialisa- tion	configura- tion	enregis- tremment	lecture d'enregis- tremment	gestion de fichiers	mainte- nance
liste des appareils connectables	L : U1 E : U1	L : U2				L : U4
liste des grandeurs physiologiques	L : U1 E : U1	L : U2				L : U4
paramètres de traitement des signaux	L : U1 E : U1					L : U4
protocole de communication	L : U1 E : U1					L : U4
dictionnaire des événements	L : U1 E : U1		L : U2			L : U4
dictionnaire des drogues	L : U1 E : U1		L : U2			L : U4
appareils connectés-voies		L : U2 E : U2	L : Auto			L : U4
grandeurs physiologiques brutes			L : Auto E : Auto	L : U2		L : U4
grandeurs physiolo- giques validées			L : Auto E : Auto	L : U2		L : U4
grandeurs élaborées			L : Auto E : Auto	L : U2		L : U4
drogues injectées			L : U2 E : U2	L : U2		L : U4
événements survenus			L : U2 E : U2	L : U2		L : U4
données identification d'une session			L : U2 E : U2	L : U2		L : U4
paramètres fichiers	L : U1 E : U1					L : U4

modes d'utilisation	initialisation	configuration	enregistrement	lecture d'enregistrement	gestion de fichiers	maintenance
données						
liste fichiers patients			E : Auto	L : U2	L : U3 E : U3	L : U4
volume total des fichiers patients			E : Auto		L : U3	L : U4
compte-rendu de maintenance						L : U4 E : U4

L : donnée accessible en lecture

E : donnée accessible en écriture

U1 : donnée manipulée par le configurateur-installateur

U2 : donnée manipulée par l'anesthésiste

U3 : donnée manipulée par l'opérateur de gestion technique

U4 : donnée manipulée par l'opérateur de maintenance

Auto : voir remarques sur le tableau VI.2

*Tableau VI.2 : Droits d'accès aux données*

Remarques sur le tableau VI.2 :

- Le mode automatique signifie que la lecture ou l'écriture de la donnée a lieu en interne et qu'elle ne fait pas appel aux interfaces d'entrées sorties avec les utilisateurs.
- Toutes les données sont accessibles au moins à un utilisateur en lecture, ce qui justifie leur présence dans la définition du modèle externe.
- Les grandeurs physiologiques et les grandeurs élaborées ne sont accessibles, par un utilisateur donné, qu'en lecture car pour des raisons médico-légales, aucune personne ne doit avoir la possibilité d'aller les modifier.

**6.3.4 : Les services**

Les données sont manipulées par des traitements réalisant les services. Comme ces données ne sont pas accessibles à n'importe qui dans n'importe quelle situation, les services sont donc associés à un mode d'utilisation et à un utilisateur donnés. Le tableau VI.3 définit quels sont les services accessibles aux utilisateurs en fonction du mode d'utilisation.

modos d'utilisation services	initialisa- tion	configura- tion	enregis- tremet	lecture d'enregis- tremet	gestion de fichiers	mainte- nance
lecture en base de données statique	U1		U2			U4
écriture en base de données statique	U1					
lecture en base de données semi-statique		U2	U2	U2	U3	U4
écriture en base de données semi-statique		U2			U3	U4
lecture en base de données dynamique			U2			U4
écriture en base de données dynamique			U2			
acqui.-traitem.-sauveg. des grandeurs physio.			Auto			
visualisation d'un enre- gistremet précédent				U2		U4
impression d'un compte-rendu	U1			U2		U4
test commu- nication/imprimante	U1					U4
sauvegarde sur disquettes					U3	U4
nettoyage du disque					U3	
passage en mode initialisation		U1				
passage en mode configuration	U1		U2	U2	U3	U4
passage en mode enregistrement		U2				
passage en mode lecture d'enregistre.		U2				

modos d'utilisation	initialisation	configuration	enregistrement	lecture d'enregistrement	gestion de fichiers	maintenanco
services						
passage en mode gestion de fichiers		U3				
passage en mode maintenanco		U4				

U1 : service accessible par le configurateur-installateur

U2 : service accessible par l'anesthésiste

U3 : service accessible par l'opérateur de gestion technique

U4 : service accessible par l'opérateur de maintenanco

Tableau VI.3 : Droits d'accès aux services.

Remarques sur le tableau VI.3 :

- Chaque service appartient à un mode d'utilisation et chaque mode d'utilisation comporte au moins un service. Le recouvrement de l'ensemble des services est donc vérifié.
- Chaque mode d'utilisation comporte au moins un service de changement de mode qui permet de le quitter.
- Le service *Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques* est un service dont la réalisation est automatique à chaque fois que le mode d'utilisation actif est le mode *Enregistrement*. Il correspond donc à une requête implicite.
- Si un mode d'utilisation n'était pas associé à un utilisateur unique, il faudrait une troisième dimension au tableau VI.3, pour définir pour chaque mode d'utilisation et pour chaque utilisateur la liste des services accessibles. Cette remarque est également valable pour le tableau VI.2.

**6.3.5 : La gestion des modes d'utilisation**

Pour des raisons évidentes de cohérence de fonctionnement, la première phase de manipulation du multicateur doit offrir les services du mode d'utilisation *Initialisation* . De même, la phase de *configuration* doit précéder la phase d'*enregistrement*. C'est pourquoi, nous pouvons compléter le tableau VI.3 par le graphe présenté figure VI.2, décrivant la gestion des modes d'utilisation.

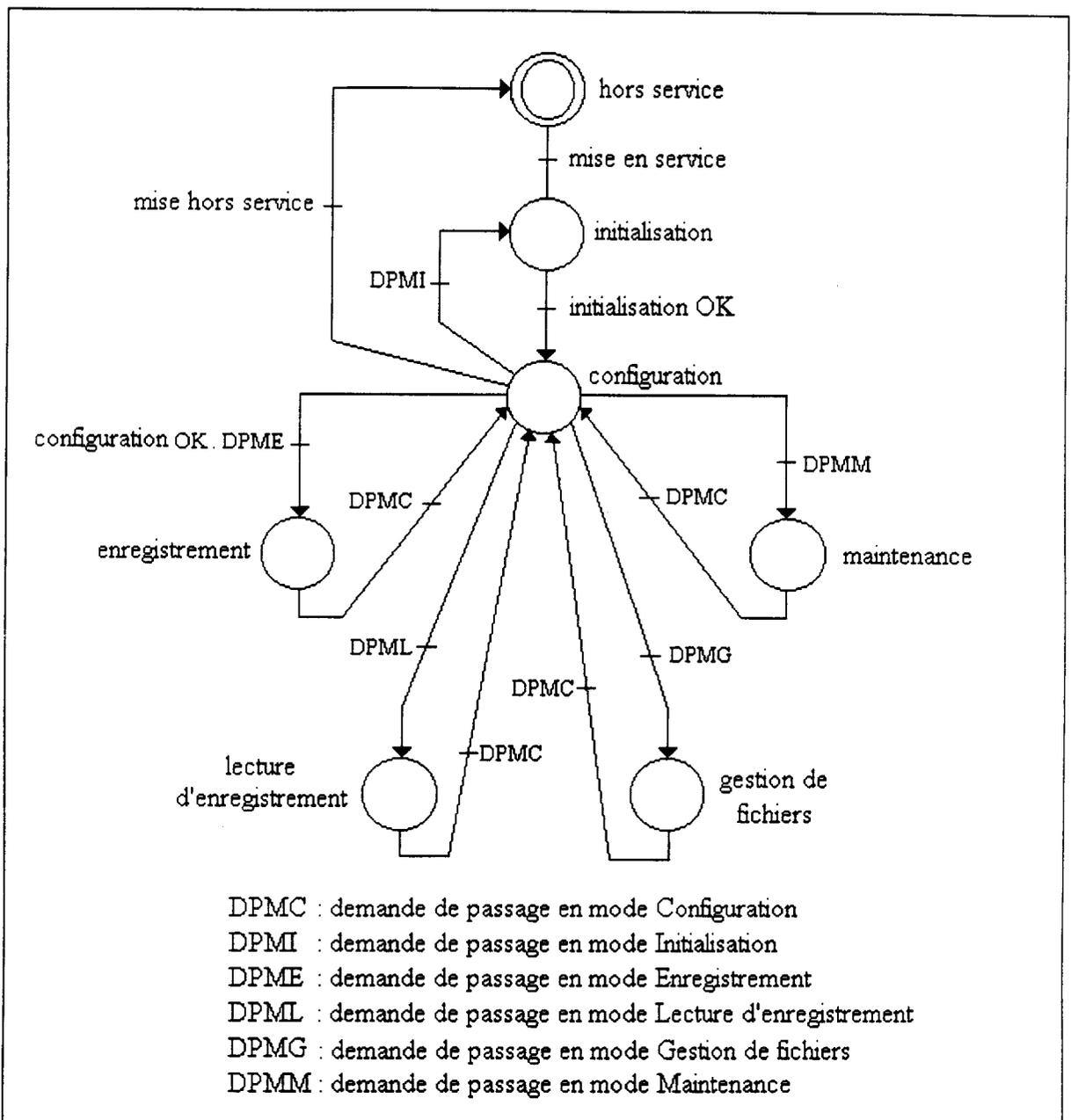


Figure VI.2 : Graphe de gestion des modes d'utilisation.

Remarques sur le graphe de gestion des modes d'utilisation :

- Lors de la première mise en service du multicapteur, le configurateur-installateur est obligé de définir un certains nombre de paramètres d'initialisation (initialisation de la partie statique de la base de données).
- Lorsque la partie statique de la base de données existe le multicapteur passe automatiquement dans le mode *Configuration*.
- Le multicapteur est le plus souvent amené à être utilisé dans un contexte de surveillance de l'anesthésie. De plus, l'anesthésiste doit pouvoir commencer à travailler

le plus rapidement possible. C'est pourquoi, le mode d'utilisation *Configuration* a été choisi comme mode de point de départ lorsque le multicapteur est opérationnel (*initialisation OK*).

- Cette solution de gestion des modes d'utilisation n'est pas unique. On aurait pu, par exemple, ajouter un passage entre le mode d'utilisation *Enregistrement* et le mode *Lecture d'enregistrement*. Nous ne l'avons pas fait pour le moment car les lectures et les impressions des comptes-rendus d'anesthésie ont généralement lieu en différé.
- Il est bien évident qu'il est possible par une manoeuvre qui n'est pas celle normalement attendue de mettre le multicapteur hors-service à partir de n'importe quel mode d'utilisation (par exemple, en débranchant l'ordinateur). Toutefois de façon à ne pas surcharger le graphe présenté, nous n'avons pas représenté ces transitions.

### **6.3.6 : La gestion des modes de marche**

Pour passer d'un mode d'utilisation vers un autre, il faut non seulement que la condition de passage explicité sur le graphe de gestion des modes d'utilisation (voir figure VI.2) soit vérifiée mais également que tous les services indispensables du mode soient exécutables (de façon normale ou au moins dégradée, voir paragraphe : 5.4.2.2). Le tableau VI.4 définit pour chaque mode d'utilisation les services indispensables.

modos d'utilisation services	initialisa- tion	configura- tion	enregis- tremont	lecture d'enregis- tremont	gestion de fichiers	mainte- nance
lecture en base de données	I	I	I	I	I	D
écriture en base de données	I	D	I	N	N	D
acqui.-traitem.-sauveg. des grandeurs physio.	N	N	I	N	N	N
visualisation d'un enre- gistremont précédent	N	N	N	I	N	D
impression d'un compte-rendu	D	N	N	D	N	D
test commu- nication/imprimante	D	N	N	N	N	D

modos d'utilisation	initialisa- tion	configura- tion	enregis- tremont	lecture d'enregis- tremont	gestion de fichiers	mainte- nance
services						
sauvegarde sur disquettes	N	N	N	N	I	N
nettoyage du disque	N	N	N	N	D	N
changement de mode d'utilisation	I	I	I	I	I	I

I : service indispensable pour le mode d'utilisation

D : le mode d'utilisation est dégradé en l'absence de ce service

N : le service n'est pas utilisé par le mode

Tableau VI.4 : Services indispensables pour les modes d'utilisation.

#### Remarques sur le tableau VI.4 :

- Les services de lecture en base de données statique, semi-statique, dynamique ont été regroupés sous la dénomination : *lecture en base de données* (idem pour les services d'écriture en base de données). Les services de changement de mode d'utilisation ont également été réunis.
- Lorsque l'écriture en base de données semi-statique n'est pas possible, le multicateur peut fonctionner en mode dégradé, la configuration retenue est celle qui avait été définie à la session précédente.
- Pour chaque mode d'utilisation, il est indispensable de pouvoir en changer, sinon le multicateur devient inutilisable pour faire autre chose que ce qui est prévu dans le mode d'utilisation dans lequel il est.

Compte tenu du fait que certains services sont indispensables dans des modes d'utilisation donnés, pour améliorer la robustesse du système, il est prévu pour certain de ces services des versions dégradées. Celles-ci peuvent être obtenues à partir d'algorithmes prenant en compte un sous-ensemble de ressources (possibilité de faire un enregistrement alors qu'un des moniteurs est hors service) ou à partir d'une redondance matérielle selon son coût. Ainsi, par exemple, pour le service lecture en base de données qui est indispensable à plusieurs modes d'utilisation, le fait de mettre à la disposition de l'opérateur un clavier et une souris permet, en cas de panne d'une des interfaces d'entrée, de pouvoir continuer le service en version dégradée. Il est vrai la présence de ces deux outils améliore également la convivialité du multicateur. Par

contre, pour le service *Sauvegarde sur disquette* ou (*Impression d'un compte-rendu*), une redondance matérielle nécessite la présence d'un deuxième lecteur (ou d'une deuxième imprimante) qui, compte tenu du surcoût engendré n'a pas été jugée utile.

Un service est disponible en version normale ou dégradée, ou indisponible en fonction de l'état des ressources sur lesquelles il s'appuie. L'image de l'état des ressources est élaborée par le module de surveillance et la liste des services et de leur version est définie pour un mode d'utilisation donné par le module *Gérer les modes de marche*. Les versions des services en fonction de l'état des ressources sont définies par les équations logiques présentées dans le tableau VI.5.

versions	normale	dégradée	indisponible
services			
lecture en base de données	clavier . souris . ILVD	ILVD . (clavier $\oplus$ souris)	clavier/ . souris/ + ILVD/
écriture en base de données	clavier . souris . ILVD	ILVD . clavier . souris/	clavier/ + ILVD/
acqui.-traitem.-sauveg. des grandeurs physio.	clavier . souris . ILVD . $\wedge$ moniteurs	ILVD . (clavier . souris/ + moniteur/)	clavier/ + ILVD/ + moniteurs/
visualisation d'un enre-gistrement précédent	clavier . souris . ILVD	ILVD . (clavier $\oplus$ souris)	clavier/ . souris/ + ILVD/
impression d'un compte-rendu	clavier . souris . ILVD . imprimante	ILVD . (clavier $\oplus$ souris) . imprimante	clavier/ . souris/ + ILVD/ + imprimante/
test commu- nication/imprimante	clavier . imprimante . ILVD . $\wedge$ moniteurs	clavier . imprimante . ILVD . moniteur(s)/	Clavier/ + ILVD/
sauvegarde sur disquettes	Clavier . ILVD . lecteur_disquette		Clavier/ + ILVD/ + lecteur_disquette/
nettoyage du disque	clavier . ILVD		Clavier/ + ILVD/
changement de mode d'utilisation	clavier . souris . ILVD	ILVD . (clavier $\oplus$ souris)	clavier/ . souris/ + ILVD/

ILVD : intelligence locale . console de visualisation . disque dur

Tableau VI.5 : Version des services.

Remarques sur le tableau VI.5 :

- Nous avons regroupé en une même ressource, l'intelligence locale, la console de visualisation, le disque dur car en l'absence d'un moins un de ces éléments, il est impossible de faire quoi que ce soit.
- Le service *Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques* est indisponible si aucune donnée des moniteurs ne peut être reçue, il est dégradé si seulement une partie des moniteurs est opérationnelle.
- Si le clavier et la souris sont simultanément indisponibles, les services *lecture en base de données, visualisation d'un compte-rendu et changement de mode d'utilisation* sont indisponibles. Si seule une de ces deux ressources est absente, ils sont dégradés.
- Il n'existe pas de version dégradée pour les services *sauvegarde sur disquettes et nettoyage du disque*.

Ainsi, pour tenir compte de l'état des ressources qui conditionne la disponibilité des services et par conséquent la validité du mode d'utilisation, le graphe de gestion des modes d'utilisation doit être complété par le graphe de gestion des modes de marche. Un mode d'utilisation n'est accessible que si aucun de ses services indispensables n'est indisponible. Le passage d'un mode d'utilisation à un autre ne peut se faire que si le mode de destination est accessible. Ceci se traduit sur le graphe, présenté figure VI.3 par les transitions représentant les conditions matérielles nécessaires.

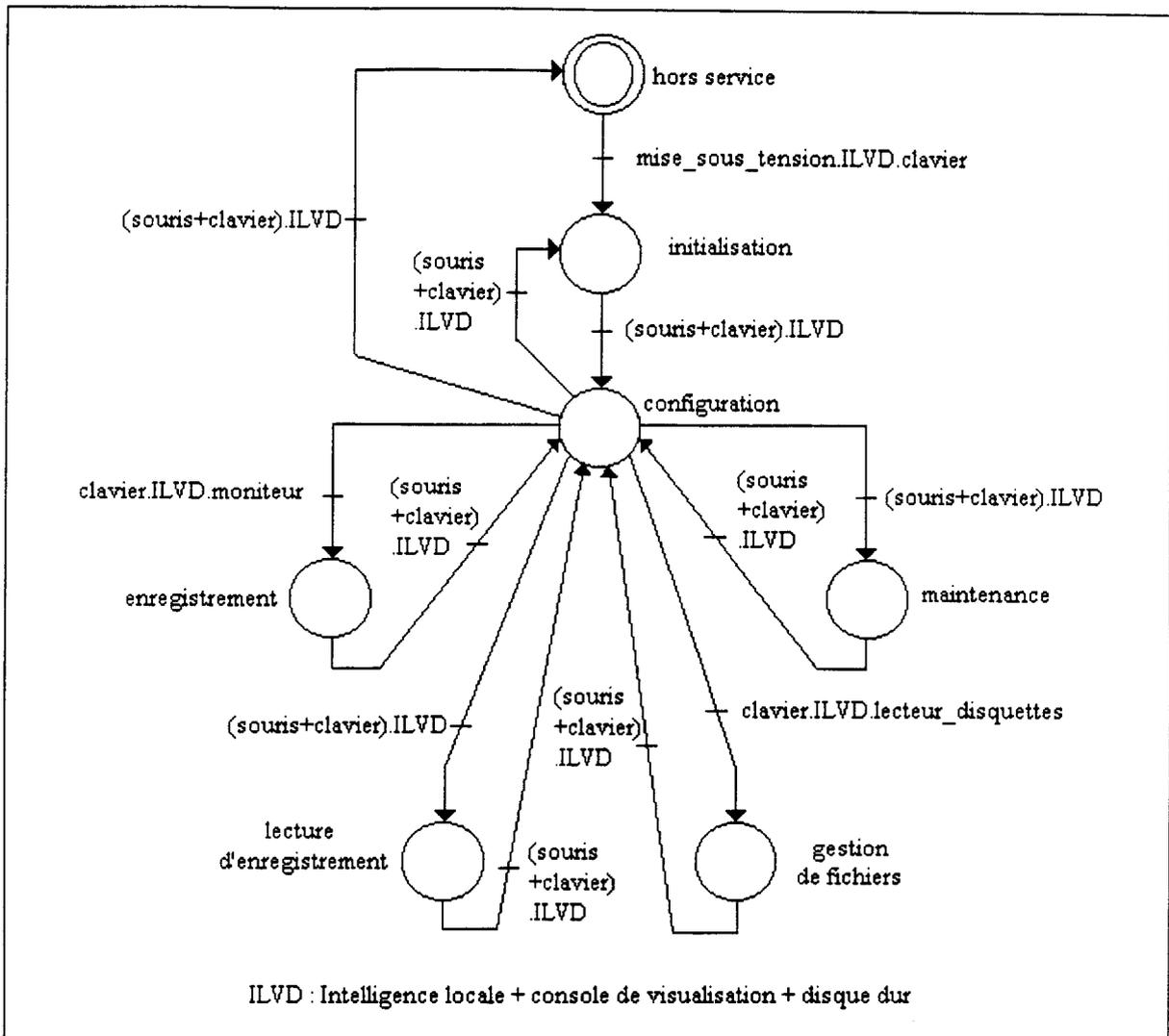


Figure VI.3 : Graphe de gestion des modes de marche.

Remarque sur le graphe de gestion des modes de marche :

A la mise sous tension, pour pouvoir démarrer, la présence du clavier est nécessaire (sinon l'ordinateur refuse de "booter").

Le modèle externe présenté ici associe à chaque utilisateur un ensemble de modes d'utilisation (tableau VI.1). Les tableaux VI.2 et VI.3 décrivent à quelles données un utilisateur a accès, dans quel mode d'utilisation, et par quels services. Le graphe de gestion des modes d'utilisation définit les conditions d'enchaînement des modes d'utilisation. Il est complété par le graphe de gestion des modes de marche qui permet à l'utilisateur de savoir si oui ou non le mode d'utilisation souhaité sera accepté compte tenu de l'état des ressources. Le tableau VI.5 précise la version du service qu'il aura alors à sa disposition.

Le modèle présenté ici instancie le modèle externe proposé chapitre 5. On y retrouve d'une part, la définition du langage de commande par la définition des services accessibles et des données manipulées et d'autre part, la définition du protocole de commande qui précise leurs conditions d'emploi. En intégrant la syntaxe des requêtes d'accès aux éléments du langage de commande, on obtient un guide d'utilisation complet du multicapteur intelligent.

La réalisation des services et leur gestion repose sur un ensemble de fonctions dont la description constitue ce que nous avons appelé le modèle interne.

## **6.4 : Mise en oeuvre du modèle interne** [GEHI 93 b]

Le modèle interne décrit les différents traitements permettant d'obtenir la réalisation des services. Les différentes fonctions de ce modèle ont été décrites dans le chapitre 4. Nous proposons ici de compléter cette description en détaillant leur mise en oeuvre dans le cas de notre application. L'utilisateur a accès à un service par l'intermédiaire d'une requête. Nous verrons donc dans un premier temps comment sont traitées les demandes de service. Puis, dans une seconde étape, nous détaillerons la réalisation d'un service en nous appuyant sur l'exemple du service *Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques*. Le lecteur aura ainsi un aperçu de l'ensemble des fonctions mises en oeuvre au niveau du multicapteur que nous avons développé.

### **6.4.1 : Le traitement des requêtes**

L'enchaînement normal des modes d'utilisation est décrit par le graphe présenté figure VI.2. Ce graphe est implémenté sous forme de menus. L'utilisateur sait à chaque instant quels sont les services qu'il peut demander (demande de changement de mode ou autre) par les options d'un menu affichées à l'écran. Pour illustrer le traitement d'une demande de service, prenons l'exemple suivant. L'utilisateur vient d'activer le mode d'utilisation *Lecture d'enregistrement*. Il se trouve face aux options du menu 2 : Lire\_Fichier, Imprimer, Quitter. Ces trois options correspondent aux trois services accessibles, respectivement : *visualisation d'un enregistrement*, *impression d'un compte-rendu*, *passage en mode Configuration*. A partir de ce moment, le module *Gérer l'application* attend qu'un *message interprété* lui soit fourni par l'activité *Interfacer en entrée*. Ce *message interprété* correspond au choix de l'utilisateur. Il est traité par l'activité *Gérer les activités* pour activer les traitements correspondant et par

l'activité *Gérer les modes de marche* s'il correspond à une demande de changement de mode d'utilisation. Dans la pratique, les fonctions sont mises en oeuvre comme expliqué ci-dessous.

#### **6.4.1.1 : Interfacer en entrée**

L'émission d'une requête est réalisable de trois façons :

- en cliquant deux fois sur le champ menu correspondant au service voulu avec le bouton gauche de la souris (un seul clic provoque l'affichage d'un message d'aide résumant l'action engendrée par le choix),
- en se positionnant sur le champ menu correspondant au service voulu à l'aide des touches flèches gauche et droite du clavier puis en actionnant la touche Entrée,
- en tapant la première lettre du champ menu.

L'opérateur dispose donc de deux ressources : le clavier et la souris pour communiquer en entrée avec le multicateur.

##### **☞ le clavier :**

Chaque fois qu'une touche est activée, son code est automatiquement mémorisé dans un registre (le buffer clavier). Par conséquent, pour savoir si un événement de type clavier a eu lieu en entrée, il suffit d'aller lire le contenu du buffer clavier.

##### **☞ la souris :**

Pour savoir si un événement de type souris a eu lieu (nous considérons comme événement un appui sur le bouton gauche ou sur le bouton droit), nous utilisons la fonction 05H de l'interruption 33H [TISC 92] qui indique au programme d'appel combien de fois un bouton de la souris a été appuyé depuis le dernier appel de cette fonction et où se trouvait le curseur la dernière fois que le bouton a été actionné.

Les événements claviers et souris sont pris en compte par l'activité *Interpréter* dès lors que cette dernière est activée par le module *Gérer les activités*. L'interprétation de l'événement est réalisée en fonction du contexte (par exemple test menu 2). Son résultat est communiqué à l'activité *Gérer les activités* par la sortie *message interprété*. Ainsi, en ce qui concerne notre exemple, l'activité *Interpréter* activée par le module *Gérer les activités*, fait un appel à la fonction 05H de l'interruption 33H et lit le contenu du buffer clavier pour voir s'il y a eu un événement en entrée. Plusieurs cas peuvent se produire. Ces derniers sont résumés par le tableau VI.6. L'implémentation du tableau VI.6 correspond au contexte de l'activité *Interpréter*.

messages interprétés évènements	néant	bouton droit actionné	clic hors menu	{aide 1, aide 2, aide 3}	mauvaise touche	{Imprimer, Lire_Fichier Quitter}
absence d'évènement	X					
clic(s) avec bouton droit		X				
clic(s) avec bouton gauche hors menu			X			
1 clic avec bouton gauche sur menu				X		
2 clics avec bouton gauche sur menu						X
touche ∈ {←, →, 'L', 'T', 'Q'}					X	
touche ∈ {←, →}				X		
touche ∈ {entrée, 'L', 'T', 'Q'}						X

Tableau VI.6 : Contenu du message interprété en fonction des événements d'entrée.

#### **6.4.1.2 : Gérer les activités**

En fonction du contenu du *message interprété*, la fonction *Gérer les activités* attend un nouvel événement en entrée, affiche un message, active d'autres traitements spécifiques .... Les possibilités sont résumées par le tableau VI.7. Dans tous les cas, un opérande correspondant soit au mode d'utilisation courant, soit au nouveau mode d'utilisation souhaité est transmis au module *Gérer les modes de marche* (1<sup>ère</sup> colonne du tableau VI.7). Lorsque la requête n'est pas valide (par exemple : clic hors menu) ou qu'elle correspond à une demande d'aide, l'activité *Interpréter* de la fonction *Interfacier en entrée* est de nouveau activée et l'opérande Menu 2, nécessaire à l'interprétation de l'événement en entrée, transmis (2<sup>ème</sup> colonne du tableau VI.7). La 3<sup>ème</sup> colonne du tableau VI.7 donne le contenu du message à émettre en sortie. Lorsque la requête correspond à un service accessible, les traitements correspondant sont activés (4<sup>ème</sup> colonne du tableau VI.7).

activités activées	gérer les modes de marche	interfacer en entrée	interfacer en sortie	autres traitements
messages interprétés				
néant	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2		
bouton droit actionné	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	cliquer avec le bouton gauche	
clic hors menu	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	cliquer sur le menu	
aide 1	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	lire en enregistrement précédent	
aide 2	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	imprimer un compte-rendu	
aide 3	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	retourner dans le mode configuration	
mauvaise touche	mode d'utilisation = lecture enregis.	menu 2	taper la première lettre du choix	
Lire_Fichier	mode d'utilisation = lecture enregis.			traitements spécifiques
Imprimer	mode d'utilisation = lecture enregis.			traitements spécifiques
Quitter	mode d'utilisation = configuration.			

Tableau VI.7 : Opérandes transmis par Gérer les activités aux fonctions activées selon le contenu du message interprété.

### **6.4.1.3 : Gérer les modes de marche**

L'activité *Gérer les modes de marche* est normalement active en permanence. Elle permet à chaque instant de mettre à jour la liste des services disponibles en fonction des ressources présentes. Les ressources en entrée sont le clavier et la souris. La présence du clavier (connexion) est automatiquement testée par l'unité centrale à la mise sous tension. Il devrait

donc être possible de faire un test similaire à n'importe quel moment. La présence de la souris peut être testée en faisant appel à la fonction 00H de l'interruption 33H.

Les ressources en sortie sont la console de visualisation, l'imprimante et le lecteur de disquettes. L'état de l'imprimante peut facilement être testé en faisant appel à la fonction 02H de l'interruption 17H. L'état du lecteur de disquette peut être testé en faisant appel à la fonction 00H de l'interruption 13H. L'état de la console de visualisation ne peut pas être testé.

#### **6.4.1.4 : Interfacer en sortie**

L'activité *Interfacer en sortie* se charge de l'émission du *message à émettre* vers le périphérique de sortie (console de visualisation, imprimante, lecteur de disquettes). Par défaut, le périphérique est la console de visualisation. Dans les autres cas, un opérande supplémentaire est utilisé pour désigner le destinataire du *message à émettre*.

Par la description du traitement d'une requête, nous venons de voir sur quels principes repose la mise en oeuvre des fonctions d'interfaçage en entrée et en sortie, de gestion des modes de marche et des activités. La description de la réalisation du service *Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques* permet de faire de même pour les autres fonctions.

### **6.4.2 : Réalisation du service Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques**

Le service *Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques* fait partie du mode d'utilisation *Enregistrement*. Il est systématiquement activé tant que le mode *Enregistrement* l'est. Ce service réalise les traitements suivants :

- lecture des valeurs des grandeurs physiologiques,
- validation des valeurs des grandeurs physiologiques,
- élaboration d'informations,
- affichage des valeurs des grandeurs physiologiques instantanées validées, de leur courbe de tendance et des informations élaborées,
- mémorisation des valeurs des grandeurs physiologiques et des informations élaborées.

Dans la suite, nous considérons le cas où le patient est ventilé en circuit fermé et où les appareils connectés sont (voir annexe 2) :

- le Capnomac Ultima (photomètre + capteur d'oxygène paramagnétique),

- le Cardiocap (électrocardiogramme + oxymètre de pouls),
- le Nipon Colin (capteur de pression artérielle).

Les grandeurs mesurées par chaque appareil sont résumées par le tableau VI.8.

appareils					
grandeurs mesurées	Nipon Colin	Cardiocap électrocardiogramme	Cardiocap oxymètre de pouls	Capnomac capteur paramagné.	Capnomac U. photomètre
taux d'oxygène inspiré (FiO <sub>2</sub> )				X	
taux d'oxygène expiré (EtO <sub>2</sub> )				X	
taux de dioxyde de carbone inspiré (FiCO <sub>2</sub> )					X
taux de dioxyde de carbone expiré (EtCO <sub>2</sub> )					X
taux de protoxyde d'azote inspiré (FiN <sub>2</sub> O)					X
taux de protoxyde d'azote expiré (EtN <sub>2</sub> O)					X
taux d'agent anesthésique inspiré (FiAA)					X
taux d'agent anesthésique expiré (EtAA)					X
fréquence respiratoire		X			X
Taux d'oxygène sanguin SaO <sub>2</sub>			X		
fréquence cardiaque	X	X	X		
pression systolique	X				
pression moyenne	X				
pression diastolique	X				

Tableau VI.8 : Grandeurs mesurées par le Cardiocap, le Capnomac Ultima et le Nipon Colin.

### 6.4.2.1 : Acquérir

La fonction *Acquérir* est totalement prise en charge par les moniteurs. Elle est indépendante des fonctions que nous avons eu à implémenter. L'acquisition des grandeurs est réalisée automatiquement toutes les dix secondes pour le Capnomac Ultima et le Cardiacap. La période entre deux mesures, pour le Nipon Colin est fixée par l'utilisateur (en général 1, 2 ou 5 minutes). Toutefois, des mesures supplémentaires de pression artérielle peuvent être déclenchées manuellement.

Les moniteurs transmettent automatiquement les valeurs des grandeurs mesurées dès que ces dernières ont été élaborées, dans une chaîne alphanumérique, au moyen d'une liaison RS 232. Chaque chaîne débute par un identifieur de début de chaîne et se termine par un identifieur de fin de chaîne. Entre ces deux identifieurs, les informations se situent toujours à la même position (voir tableaux VI.9 et VI.10).

identifieurs	identifieur de début	identifieur de fin
chaînes envoyées		
Cardiacap chaîne 1	C03	LF
Cardiacap chaîne 2	C04	LF
Capnomac Ultima chaîne 1	U01	LF
Capnomac Ultima chaîne 2	B00	LF
Nipon Colin	SI	LF

Tableau VI.9 : Identifieurs de début et de fin pour chaque chaîne envoyée.

paramètres de format	appareil	identifieur de début	position	nombre de caractères
grandeurs mesurées				
FiO <sub>2</sub>	Capnomac U.	U01	13	3
EtO <sub>2</sub>	Capnomac U.	U01	9	3
FiCO <sub>2</sub>	Capnomac U.	B00	17	3
EtCO <sub>2</sub>	Capnomac U.	B00	13	3
FiN <sub>2</sub> O	Capnomac U.	B00	33	3
EtN <sub>2</sub> O	Capnomac U.	B00	29	3
FiAA	Capnomac U.	B00	41	3
EtAA	Capnomac U.	B00	37	3
fréquence respiratoire	Cardiacap	C03	41	3
fréquence respiratoire	Capnomac U.	B00	49	3

paramètres de format	appareil	identifieur de début	position	nombre de caractères
grandeurs mesurées				
SaO <sub>2</sub>	Cardiicap	C04	21	3
fréquence cardiaque	Cardiicap	C03	45	3
fréquence cardiaque	Cardiicap	C04	17	3
fréquence cardiaque	Nipon Colin	SI	21	3
pression systolique	Nipon Colin	SI	8	3
pression moyenne	Nipon Colin	SI	13	3
pression diastolique	Nipon Colin	SI	17	3

Tableau VI.10 : Paramètres de format de chaîne.

La réception des caractères et leur interprétation en tant que caractère envoyé par un moniteur sont assurées par le module *Interfacer en entrée*.

#### **6.4.2.2 : Interfacer en entrée**

A priori, un appareil connecté peut émettre un caractère à n'importe quel instant. Par conséquent, la fonction *Recevoir* génère un signal d'interruption à chaque caractère reçu. Ce signal d'interruption est transmis au module *Gérer les activités* qui dédie alors le processeur à la lecture du caractère, puis à son interprétation. Un seul signal d'interruption est utilisé pour l'ensemble des voies RS 232. Par conséquent, une procédure de reconnaissance de la voie émettrice est implantée au niveau de la fonction *Recevoir*. Le module *Recevoir* produit en sortie une information du type caractère 'A' émis par voie '1'. Cette information est transmise au module *Interpréter*.

Les différents caractères émis par les moniteurs sont traités par le module *Interpréter* de façon à isoler les valeurs des grandeurs physiologiques. L'isolation de l'information utile s'appuie sur les paramètres de format de chaîne (tableaux VI.9 et VI.11) mémorisés en base de données statique et sur la configuration définie par l'anesthésiste (relation appareil-voie de connexion). Le principe est le suivant. Chaque caractère émis est comparé à l'identifieur de fin de chaîne : 'LF'. Tant qu'il n'est pas égal à l'identifieur de fin de chaîne, il est mémorisé par ajout à la chaîne des caractères déjà émis sur la même voie. Lorsque l'identifieur de fin de chaîne est détecté, on a ainsi en mémoire une chaîne complète. Les valeurs des grandeurs physiologiques peuvent alors en être extraites. Elles sont transmises à l'activité *Traiter* par l'intermédiaire du module *Gérer les activités*.

Remarque :

Le Cardiocap comme le Capnomac n'envoient jamais les deux chaînes contenant les données simultanément. L'application du principe décrit précédemment ne pose donc pas de problème.

Le traitement des grandeurs physiologiques se décompose en trois étapes dont le séquençement est géré par le module *Gérer les activités* :

- Surveiller,
- Générer des informations,
- Gérer la base de données.

### **6.4.2.3 : Surveiller**

Les algorithmes de surveillance ont ici pour rôle de valider dans la mesure du possible, les valeurs des grandeurs physiologiques fournies par le module *Interfacer en entrée* et de détecter des défaillances éventuelles de l'équipement médical (par exemple : défaut capteur, fuite dans le circuit de ventilation). Il existe plusieurs techniques de validation de données [RAGO 90]. Les principales reposent sur l'utilisation de modèles qui peuvent être analytiques ou qualitatifs. D'autres peuvent faire appel à des techniques de reconnaissance de formes. Ces dernières étant plus difficiles à mettre en oeuvre (il est nécessaire de "reconnaître" des formes grâce à des procédures d'apprentissage fonctionnant sur des ensembles de données que l'on a pu auparavant relever et caractériser) n'ont pas été envisagées pour le moment.

En ce qui concerne, l'analyse des concentrations des gaz respiratoires, les deux principales relations analytiques reposent sur le principe de la conservation de la masse. Lorsque le malade est ventilé en circuit fermé [VISH 91], l'anesthésiste contrôle totalement les apports de gaz qui sont constitués uniquement d'oxygène, d'agent anesthésique et de protoxyde d'azote. La somme des gaz inspirés (expirés) doit alors être voisine de 100%, ce qui est traduit par les équations suivantes :

$$FiO_2 + FiN_2O + FiCO_2 + FiAA \# 100 \%$$

$$EtO_2 + EtN_2O + EtCO_2 + EtAA \# 100 \%$$

La marge d'incertitude est liée à la précision des appareils de mesure et à la présence d'autres gaz qui ne sont pas mesurés (entre autre, l'azote contenu dans l'air qui peut pénétrer dans le circuit à cause de l'imperfection des joints d'étanchéité). En pratique, l'intervalle de tolérance est fixé, par exemple à [-7%, +4%] en accord avec les anesthésistes et selon le matériel utilisé.

Il est également judicieux de suivre l'évolution de l'écart à 100 %, appelé balance, de façon à détecter par exemple, une entrée d'air externe ou une dérive d'un capteur.

Outre ces deux équations traduisant le bilan massique, il est également possible de vérifier les inégalités suivantes :

- $FiO_2 > EtO_2$  (consommation d'oxygène)
- $FiO_2 \geq 21 \%$  (l'oxygène apporté doit être au moins égal à sa teneur normale dans l'air)
- $EtCO_2 > FiCO_2$  (production de dioxyde de carbone)
- $FiCO_2 \leq 0,1 \%$  (sinon alarmer car peut correspondre à une déficience de l'absorbeur chimique dans le circuit de ventilation patient)
- $EtAA \leq 3 \%$  et  $FiAA \leq 3 \%$  (agents anesthésiques en faible quantité sinon alarmer)

L'évolution des pentes des courbes de tendance est un autre moyen de valider les concentrations des gaz [GEHI 93 a]. En particulier, les pentes des concentrations en  $FiN_2O$  et en  $EtN_2O$  doivent varier dans le même sens.

La fréquence cardiaque est mesurée directement ou indirectement par trois capteurs différents. Une technique de vote logique permet donc de valider partiellement le fonctionnement des capteurs ainsi que les autres grandeurs qu'ils mesurent. Par exemple, l'utilisation du bistouri électrique parasite souvent l'électrocardiogramme (ECG). De ce fait, les valeurs de fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire déduites de l'ECG sont erronées. Le vote logique appliqué sur les trois valeurs de fréquence cardiaque permet de le détecter. La valeur de la fréquence cardiaque communiquée à l'utilisateur sera alors celle mesurée par l'oxymètre de pouls (plus précise que celle mesurée au brassard avec le Nipon Colin) et la valeur de la fréquence respiratoire sera celle évaluée par le photomètre. De même, dans d'autres circonstances, il se peut que le doigt du patient sur lequel est appliqué l'oxymètre de pouls soit vasoconstricte et que les conditions de mesure de la  $SaO_2$  et de la fréquence cardiaque ne soient pas idéales. Le vote logique sera là encore capable de détecter une telle situation et la valeur de fréquence cardiaque communiquée sera la valeur mesurée par l'ECG.

Les valeurs fournies par le capteur de pression artérielle et l'oxymètre de pouls peuvent être partiellement validées par la vérification des relations suivantes :

$$SaO_2 \geq 90 \%$$
$$PSyst > PMoy > PDias$$

Lorsque l'ensemble des relations où une valeur intervient est vérifié, cette valeur est considérée validée. Dans le cas contraire, sa valeur, accompagnée d'un message d'alarme est communiquée à l'anesthésiste.

#### **6.4.2.4 : Générer des informations**

Le module *Générer des informations* peut être décomposé en deux parties. La première consiste à estimer les grandeurs qui n'ont pas pu être validées. Par exemple, lorsque les valeurs des taux d'oxygène sont erronées (défaillance du capteur paramagnétique) elles peuvent être estimées par les relations suivantes :

$$FiO_2 = 100 - FiN_2O - FiCO_2 - FiAA$$

$$EtO_2 = 100 - EtN_2O - EtCO_2 - EtAA$$

Lorsqu'une telle estimation n'est pas possible, la valeur estimée est la valeur mesurée précédente si cette dernière a été mesurée et non déjà estimée.

Le second rôle du module Générer des informations est d'élaborer les informations permettant d'afficher les courbes de tendance non seulement des valeurs des grandeurs physiologiques mais également des écarts  $FiO_2$ - $EtO_2$ ,  $EtCO_2$ - $FiCO_2$ ,  $FiN_2O$ - $EtN_2O$ ,  $FiAA$ - $EtAA$ , Pression Systolique-Pression Diastolique.

#### **6.4.2.5 : Gérer la base de données**

La base de données contient les informations nécessaires aux traitements des valeurs des grandeurs physiologiques :

- paramètres de format de chaîne,
- paramètres de surveillance,
- etc..

Sont également stockées en base de données, les valeurs des grandeurs physiologiques dans un fichier dont le nom est défini à partir de l'heure et de la date du passage en mode d'utilisation *Enregistrement* (unicité du nom de fichier). Les paramètres d'accès aux données (localisation, mode lecture ou écriture) sont fournis par le module *Gérer les activités*.

## **6.5 : Conclusion**

L'anesthésiste dispose maintenant d'un nouvel outil lui permettant d'avoir en "un simple coup d'oeil" les principales informations relatives à l'anesthésie. Non seulement, les dernières valeurs des paramètres physiologiques mesurés sont rassemblées en un seul point mais des courbes de tendance (recréées auparavant manuellement sur papier) sur lesquelles figurent les événements et l'instant d'injection des drogues permettent au médecin de suivre correctement et d'interpréter plus facilement l'évolution de l'état de son malade. De plus, l'ensemble des valeurs des grandeurs physiologiques relatives à une session est conservé. Ceci présente plusieurs avantages. En effet, on dispose d'une trace permanente qui peut bien sûr être utilisée en cas de problème médico-juridique mais surtout être un véritable outil pour l'analyse à posteriori ou pour des fins pédagogiques. Il devrait notamment être possible en travaillant sur un tel ensemble de données de trouver de nouvelles lois de surveillance et de fournir un ensemble d'informations élaborées plus complet. Par ailleurs, l'accent a été porté sur la convivialité, que ce soit pour l'affichage des informations (utilisation du mode graphique, choix pertinents des couleurs, disposition des informations, etc.) ou pour l'utilisation du logiciel (simplicité des menus, manipulations minimales du clavier, système d'aide automatique, etc.). Le choix des informations à afficher et la manière de les présenter ont été décidés en accord avec le personnel médical. Pour le moment cette présentation est unique mais il est envisageable que dans le futur l'anesthésiste puisse la configurer, de la même façon qu'en fonction du type d'opérations chirurgicales, il est possible d'avoir des dictionnaires des événements et des drogues utilisés différents.

Par ailleurs, l'application du multicateur développé n'est pas restreinte au domaine de l'anesthésie. Il peut déjà être étendu à d'autres domaines (réanimation, assistance respiratoire, surveillance de la fonction neuromusculaire ...) où les besoins d'afficher les courbes de tendances et de garder une trace de l'évolution d'un ensemble de grandeurs physiologiques existent également. En effet, pour les moniteurs envoyant leurs données de façon automatique, il suffit que ces appareils soient déclarés en base de données statique (mode d'utilisation *Initialisation*) pour qu'ils puissent être utilisables sans aucune modification d'ordre logiciel. Cependant, il existe également des moniteurs qui n'envoient leurs données que sur demande, le format de cette dernière variant totalement d'un appareil à un autre. De ce fait, pour chaque appareil, il doit être écrit un module spécifique de recueil des données. Ceci va totalement à l'encontre des principes d'interopérabilité et d'interchangeabilité évoquées aux chapitres précédents. L'existence d'un formalisme commun de représentation des données pour l'ensemble des appareils médicaux s'avérerait un apport essentiel pour la réalisation et l'utilisation du multicateur, en particulier, elle rendrait inutile l'attribution des voies de

connexion aux appareils utilisé (mode d'utilisation *Configuration*) puisqu'il suffirait de regarder quelles sont les données envoyées.

Dans l'application que nous avons réalisée, les nouveaux traitements sont implantés au niveau d'une unité centrale. Cette configuration offre l'avantage de pouvoir tester la faisabilité des traitements sans perturber les anesthésistes, ils disposent du même parc d'appareils (les moniteurs habituels), même en cas de problème puisque nous n'intervenons pas au niveau des moniteurs mais nous nous contentons de récupérer les informations qu'ils produisent.

A plus long terme, il est tout à fait envisageable de voir évoluer l'architecture centralisée vers une architecture distribuée favorisant d'une part, l'implantation des traitements directement au niveau des capteurs et d'autre part, la communication des données entre capteurs (voir figure VI.4). Ceci offrirait comme avantage, de remplacer les moniteurs lourds et encombrants par des capteurs plus petits en taille mais beaucoup plus puissants en traitement. A ceci, s'ajouterait une unité de supervision unique synthétisant l'ensemble des données utiles à l'anesthésiste.

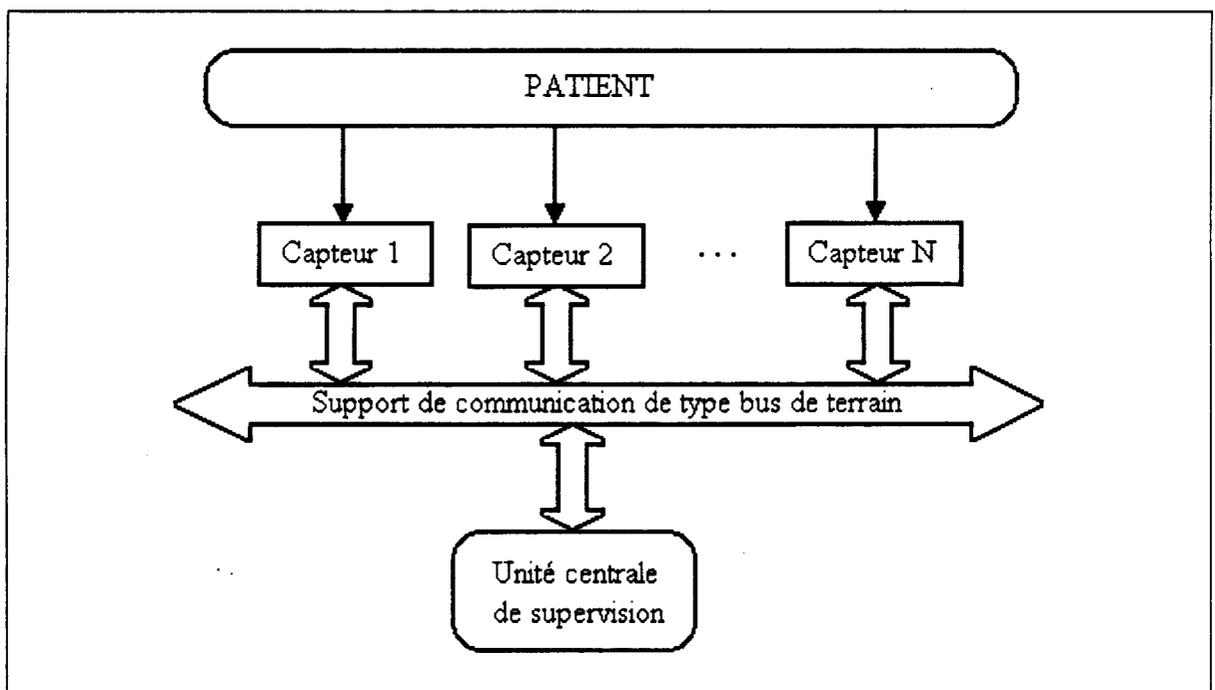


Figure VI.4 : Exemple d'architecture future pour le suivi de l'anesthésie.

## Conclusion de la 3ème partie

Dans cette dernière partie, nous avons voulu illustrer les résultats obtenus dans les chapitres précédents et voir comment ils peuvent s'appliquer sur un cas concret, celui de la surveillance de l'anesthésie. Actuellement, la suivi de l'anesthésie est réalisé à partir d'un ensemble de grandeurs physiologiques recueillies sur le malade et mesurées isolément. Les capteurs utilisés sont donc des entités indépendantes et leurs performances se limitent à celles décrites dans le chapitre 1. Par contre, en utilisant l'ensemble des données fournies par ces instruments, constituant ce que nous avons appelé la base de données brute, en l'enrichissant des informations relatives aux quantités de drogues injectées et aux événements survenus, nous réalisons un monitoring intelligent de l'anesthésie au sens où, les informations peuvent être validées à un niveau supérieur, ainsi lorsque plusieurs données sont redondantes, seule celle qui semble la plus pertinente à un instant donné est communiquée (par exemple : fréquence cardiaque mesurée par l'oxymètre de pouls si l'ECG est perturbé). A partir des informations validées constituant la base de données validée, il est également possible d'offrir de nouveaux services aux anesthésistes, par exemple : représentation des tendances des écarts, messages d'alarme, réalisation automatique de la feuille d'anesthésie.

Pour concevoir, ce nouveau système de surveillance de l'anesthésie, que nous avons dénommé de par sa configuration, multicapteur intelligent, nous avons dans un premier temps, recensé les besoins des anesthésistes afin de définir la liste des services qu'il serait utile d'implanter. Il est vite apparu que le personnel médical ne serait pas le seul utilisateur du système. L'ensemble des services a donc été structuré en modes d'utilisation (relativement à un utilisateur donné pour un mode de fonctionnement précis du multicapteur). En continuant d'appliquer les résultats du chapitre 5, et compte tenu du fait que dans notre cas, un seul utilisateur à la fois peut accéder au système, nous avons défini les conditions de passage d'un mode d'utilisation à un autre. Ce graphe de gestion des modes d'utilisation a ensuite été complété par le graphe de gestion des modes de marche qui traduit le fait qu'un service n'est accessible que si l'ensemble des ressources matérielles sur lequel il s'appuie est en bon état. Chaque service attendu a ensuite été implémenté à partir de l'analyse fonctionnelle présentée chapitre 4.

La conception et la réalisation de ce multicateur intelligent ont donc permis de valider, au moins en partie les modèles de description d'un capteur présentés dans la deuxième partie même si tous les problèmes n'ont pas été couverts par l'exemple traité (par exemple : l'accès simultané à plusieurs utilisateurs n'a pas été envisagé et la gestion des versions des services n'est pas approfondie). Il est également apparu que l'ensemble du modèle développé est un véritable outil d'aide à la spécification et à la conception du capteur intelligent

## Conclusion générale

Dans ce document, nous avons voulu, non seulement montrer l'intérêt présenté par l'instrumentation intelligente mais également proposer des solutions pour sa mise en oeuvre. Nos travaux ont porté essentiellement sur les capteurs intelligents mais il est évident que bon nombre de concepts exposés et de résultats obtenus s'appliquent aux actionneurs [ISER 92], voire à des microsystèmes [ALBE 92].

Ainsi, dans une première partie nous avons expliqué ce que nous appelons "capteur intelligent". Tout d'abord, un capteur intelligent intègre par rapport à un capteur traditionnel des possibilités de traitement et de mémorisation de l'information ainsi qu'une interface de communication bidirectionnelle. La communication en entrée (utilisateur vers capteur) qui permet un paramétrage, une configuration du fonctionnement du capteur, ainsi que l'intégration de fonctions auparavant réalisées sous forme analogique ou entièrement nouvelles, concourent à l'amélioration des performances du capteur tant en termes de critères métrologiques (meilleure précision) que de facilité d'utilisation ou de sûreté de fonctionnement.

Mais les nouvelles possibilités de traitement numérique ne se limitent pas à l'amélioration du capteur comme objet finalisé. Elles rendent également possible la réalisation d'aides aux utilisateurs de données (aides à la conduite, aides à la maintenance, aides à la gestion) par la décentralisation d'une partie des traitements du système d'exploitation temps réel du processus (R.T.P.O.S.). Les nouveaux services que peut rendre un capteur ne s'inscrivent pas uniquement dans un contexte d'exploitation mais il peut en exister dans pratiquement toutes ses phases de vie (de sa conception à son démantèlement).

A partir de la liste des services que peut intégrer un capteur intelligent de façon à apporter les aides recensées dans la première partie, nous avons proposé dans la deuxième partie, un modèle générique de description. Ce modèle se décline selon deux aspects : l'analyse fonctionnelle présente l'ensemble des traitements ainsi que leur organisation permettant d'obtenir la réalisation des services, le modèle externe décrit l'organisation des services et précise leurs conditions d'activation.

Compte tenu des résultats obtenus sur le capteur intelligent, les développements futurs que nous envisageons s'orientent vers la conception d'instruments intelligents et leur intégration dans un système automatisé de production. L'amélioration des performances d'un capteur peut être obtenue par l'implantation de nouvelles fonctionnalités. Dans ce sens, de nouveaux algorithmes de traitement de signal, de validation de données ... pourront être mis en place en s'appuyant sur des techniques éprouvées ou émergentes. Par ailleurs, en utilisant les nombreuses possibilités d'élaboration d'informations, de nouveaux services peuvent être rendus aux utilisateurs.

D'autre part, des travaux parallèles sur l'actionneur intelligent [STAR 94], nous conduisent, actuellement, à la définition d'un modèle de représentation d'un instrument intelligent générique (capteur ou actionneur). Un outil d'aide à la spécification et à la conception des instruments intelligents s'avère très intéressant. Le modèle de représentation que nous avons élaboré en est un premier élément. L'exemple appliqué à la réalisation d'un multicapteur dédié à la surveillance de l'anesthésie, développé dans la troisième partie de ce mémoire, a permis d'illustrer l'intérêt des tableaux pour décrire les concepts du modèle externe, une réflexion similaire effectuée à partir du modèle interne aboutira à la mise en forme de cet outil.

Par ailleurs, ces nouveaux instruments n'ont d'intérêt que dans la mesure où un langage d'interopérabilité est défini. A partir des propositions émanant de divers groupes de travail, une réflexion intégrant les différentes approches et incluant les concepts que nous avons ajoutés (structuration de l'ensemble des services et gestion des modes de marche) devrait permettre d'obtenir un dialogue aisé, indépendamment du constructeur, aussi bien entre les différents constituants, qu'avec les opérateurs, ceci en tenant compte des classes d'instruments.

L'échange d'information entre les constituants de niveau zéro (capteur, actionneur, automate) est alors facilité. Le système automatisé de production devient alors un véritable système automatisé de production à intelligence distribuée pour lequel, il sera nécessaire de développer des méthodes de hiérarchisation et de distribution des traitements.

# Annexe 1

## Présentation

### de la méthode S.A.D.T.

La méthode S.A.D.T. (Structured Analysis and Design Technique) : technique structurée d'analyse et de modélisation de systèmes est une méthode de spécification fonctionnelle analysant un système, ou un produit, de manière descendante, modulaire et hiérarchique en vue d'aboutir à la réalisation d'un ou plusieurs modèles [IGL 88]. Les modèles obtenus ne sont validés que s'ils permettent de répondre avec le degré d'exactitude souhaité aux questions que se posent les concepteurs, les fabricants et les utilisateurs.

#### **1: Les concepts de la méthode S.A.D.T.**

La méthode S.A.D.T. est basée sur sept concepts fondamentaux que nous présentons maintenant.

##### **☞ Premier concept : Modéliser pour comprendre**

S.A.D.T. aborde un système en le modélisant, afin d'obtenir un enchaînement d'actions et de données moins complexes que celles de départ. Il permet d'avoir une vue éclatée du système. Plusieurs modèles S.A.D.T. peuvent s'avérer nécessaires pour exprimer des points de vue différents (par exemple : point de vue de l'utilisateur ou de l'équipe de maintenance).

##### **☞ Deuxième concept : Discipliner la démarche d'analyse**

S.A.D.T. est une méthode qui analyse le système de manière imposée : descendante, hiérarchique et modulaire. L'application de la méthode S.A.D.T. commence par la description la plus générale et la plus abstraite du produit. En considérant cette description comme

---

contenue dans un seul module représenté par une boîte, il devient possible de décomposer ou d'éclater cette boîte en plusieurs boîtes qui seront à leur tour décomposées. Ainsi, chaque sous-boîte représente une fonction du produit. Les boîtes terminales de cette structure arborescente, fondée sur le principe père fils, correspondent aux fonctions élémentaires du produit, jugées suffisamment simples pour ne plus nécessiter de décomposition.

### ☞ **Troisième concept : Séparer le quoi du comment**

Spécifier un système consiste à séparer les trois niveaux d'abstractions suivant :

- le niveau conceptuel (le quoi et le pourquoi),
- le niveau organisationnel (le qui, le ou et le quand),
- le niveau opérationnel (le comment).

S.A.D.T. permet de répondre aux deux premiers niveaux d'abstraction. En séparant ces étapes de celle de la conception, c'est-à-dire du comment, on garantit que le problème sera clairement compris avant que les détails d'une solution ne soient arrêtés.

### ☞ **Quatrième concept : Modéliser la réalité**

Le modèle que nous avons du monde qui nous entoure est composé d'objets (données) et d'actions (activités). Avec S.A.D.T., les aspects "données" et "activités" d'un projet sont toujours examinés ensemble. Ainsi, un actigramme est un diagramme qui représente chaque activité par une boîte et les données manipulées par des flèches (voir paragraphe 2).

### ☞ **Cinquième concept : Formaliser de manière graphique**

La représentation graphique adoptée par S.A.D.T. permet de palier les imprécisions du langage naturel. Elle expose les détails de façon progressive et contrôlée et elle encourage la concision et la précision.

### ☞ **Sixième concept : Travailler en équipe**

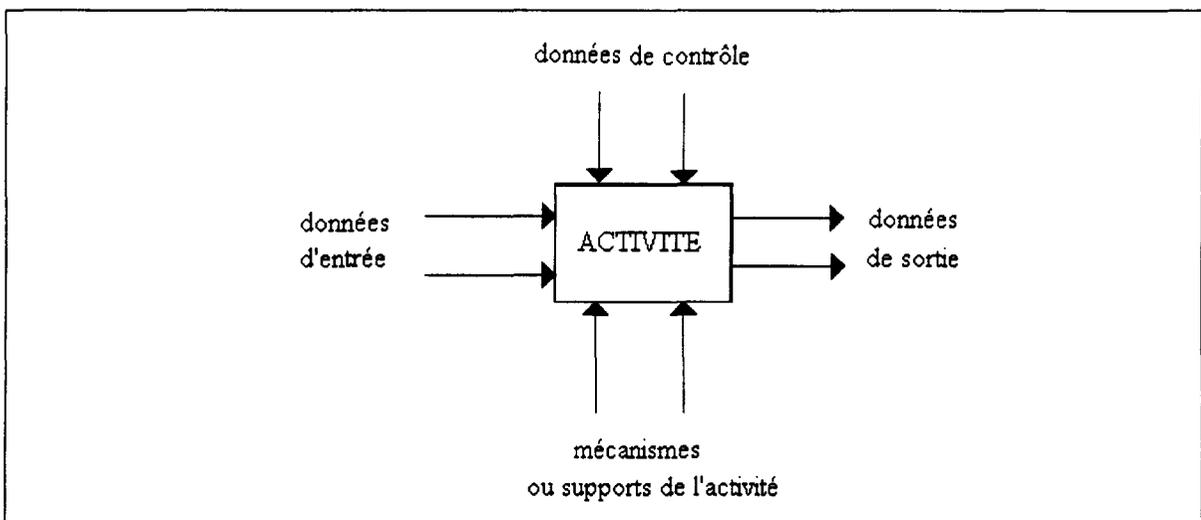
Le modèle S.A.D.T. est produit pour favoriser le travail d'équipe. Chaque membre de l'équipe a la possibilité de communiquer ses idées, ses décisions, quels que soient l'étape et le niveau de l'analyse en intervenant dans le cycle Auteur-Lecteur. Les auteurs étudient les besoins et les contraintes fonctionnelles du produit avant de le proposer sous forme de modèles S.A.D.T.. Les lecteurs commentent et critiquent par écrit le travail des auteurs. Les auteurs sont systématiquement lecteurs les uns des autres.

### ☞ **Septième concept : Consigner par écrit**

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, les diagrammes produits sont communiqués aux autres membres de l'équipe, afin d'être revus et commentés. Ces commentaires, sont faits par écrit par chaque lecteur, et soumis à l'auteur du diagramme. L'auteur porte à son tour par écrit ses réactions aux remarques et aux suggestions faites par le lecteur. Un tel cycle de critique et d'approbation (cycle Auteur(s)/Lecteur(s)) permet de savoir pourquoi des décisions particulières ont été prises et ce qui les a influencées.

## **3 : Description d'un actigramme**

A chaque boîte rangée par ordre de dominance (de haut en bas et de gauche à droite) est associé un verbe d'action symbolisant l'activité de la boîte et des flèches représentant les échanges de données ou les contraintes entre les différentes boîtes. On obtient ainsi un actigramme (voir figure 1).



*Figure 1 : Symbole graphique d'un actigramme.*

Les flèches sont comparables à des flots de données qui peuvent être de quatre types :

- les données d'entrée,
- les données de contrôle,
- les données de sortie,
- les mécanismes ou support de l'activité.

Ce symbolisme traduit le fait que chaque activité crée des données de sortie ou transforme des données d'entrée en données de sortie à partir des directives de contrôle (qui à la différence des données d'entrée ne sont pas modifiées), en s'appuyant sur des mécanismes (voir figure 2).

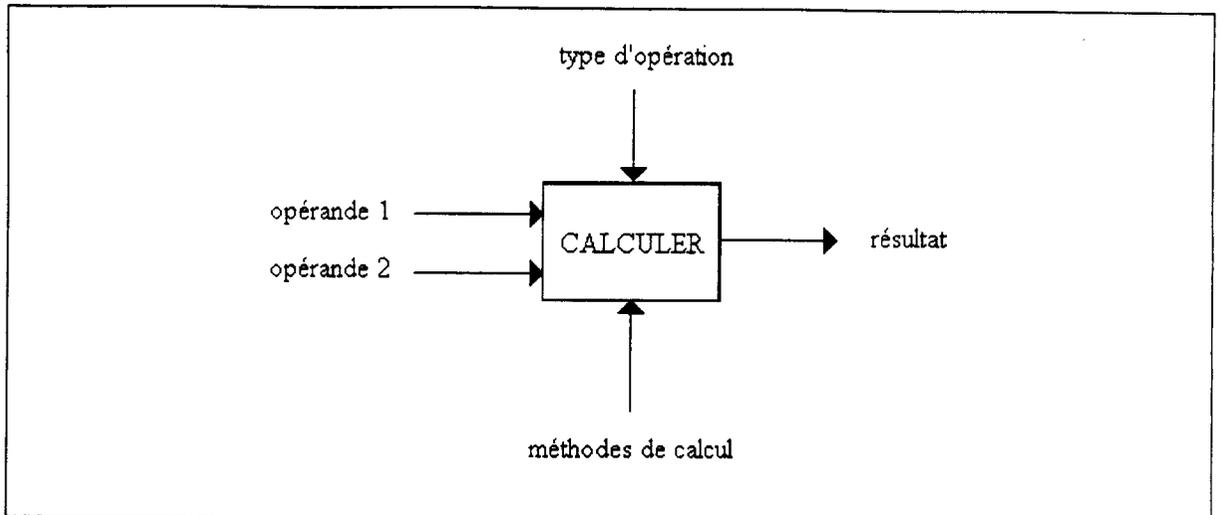


Figure 2 : Exemple d'actigramme.

**Remarques :**

- ☞ Les flèches d'un actigramme représentent les contraintes entre les boîtes. Elles ne reproduisent ni les commandes, ni les séquencements comme dans un organigramme. Elles montrent seulement ce dont la boîte a besoin pour remplir son rôle.
- ☞ La sortie d'une boîte peut devenir l'entrée ou le contrôle d'une ou plusieurs boîtes, créant ainsi un schéma classique de type "producteur consommateur".
- ☞ Par souci de lisibilité et pour éviter les encombrements inutiles, des parenthèses sont utilisées pour indiquer qu'une donnée du diagramme père existe implicitement sur tous les diagrammes fils (voir figure 3). De même, lorsque la sortie d'une boîte A est l'entrée d'une boîte B et qu'une sortie de la boîte B est l'entrée de la boîte A alors il est possible de regrouper ces deux flèches sous une flèche unique bidirectionnelle (voir figure 4).

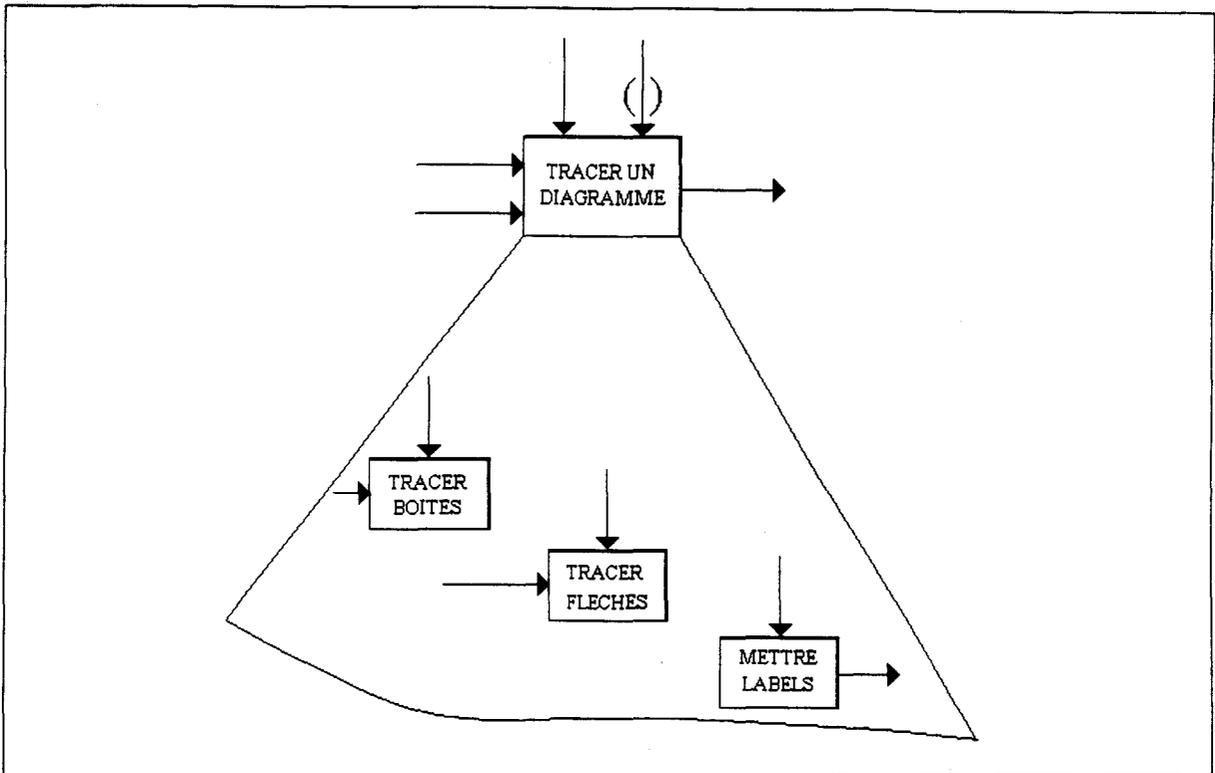


Figure 3 : Représentation d'une donnée implicite.

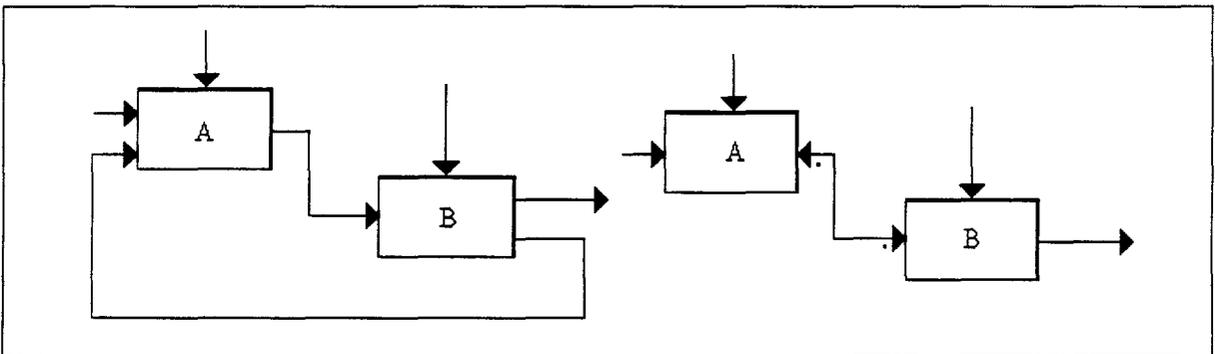


Figure 4 : Deux représentations équivalentes.

#### **4 : Numérotation des diagrammes**

A chaque diagramme est associé un numéro de noeud. Le système global et son environnement sont représentés par un diagramme, formé d'une seule boîte, numéroté A-0 (lire A moins 0). La décomposition de la boîte A-0 donne naissance au diagramme A0 (actigramme de plus haut niveau). Par la suite, le numéro de noeud de chaque diagramme s'obtient en accolant au numéro de noeud du diagramme père celui de la boîte dont il fournit la décomposition (voir figure 5).

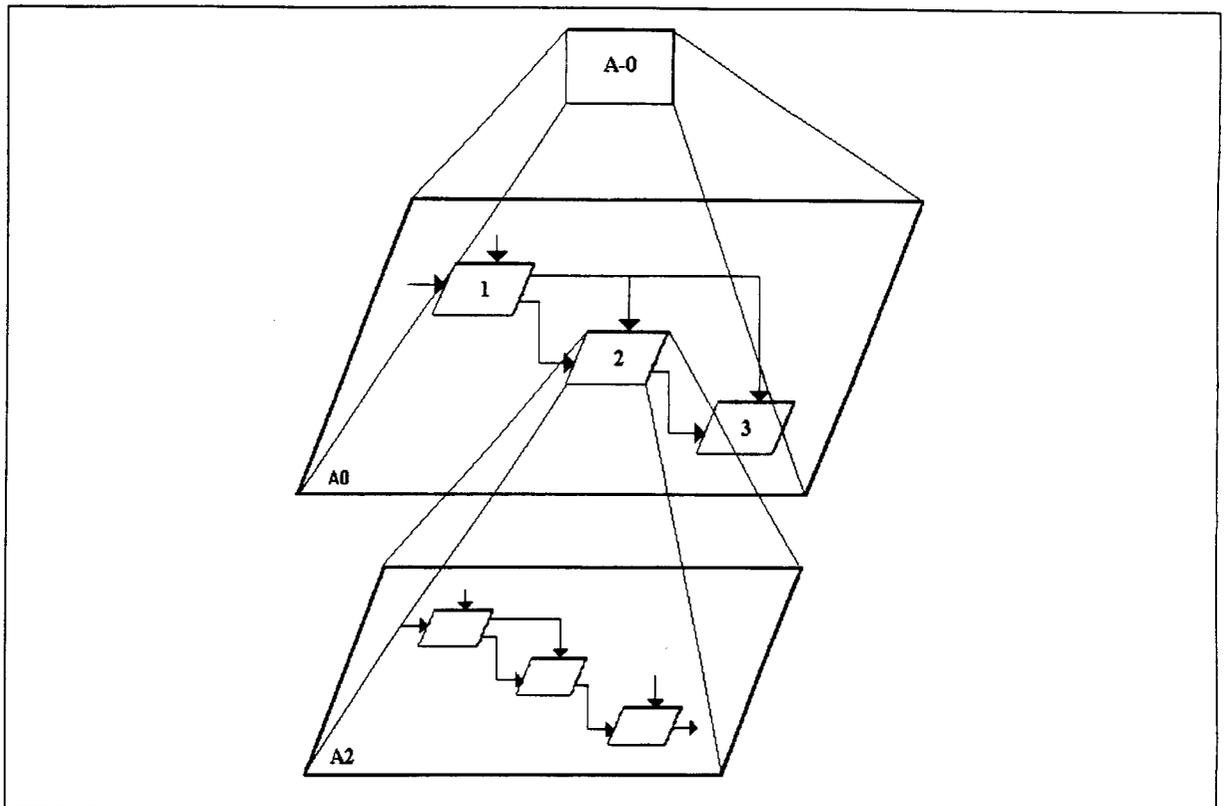


Figure 5 : Numérotation des diagrammes.

## **Annexe 2**

# **Ventilation en circuit fermé et principe de mesures de quelques paramètres**

### **1 : La ventilation en circuit fermé**

Dans la plupart des cas d'anesthésie générale, le patient est soumis à un moyen externe de ventilation mécanique c'est-à-dire qu'une machine lui insuffle à une fréquence  $F_i$ , un volume  $V_T$ . Un des circuits de ventilation couramment utilisé est le circuit en boucle fermée [KAFE 88], [VISH 91]. Ce circuit tient son nom de la disposition de ces composants (voir figure 1). Il comprend une entrée pour l'apport en  $O_2$ ,  $N_2O$  et agents anesthésiques, un absorbeur de  $CO_2$  pour que le  $CO_2$  expiré par le patient ne soit pas réhinalé, deux vanes unidirectionnelles pour imposer le sens de la circulation du gaz dans le circuit et un ventilateur dont le rôle est d'insuffler le volume  $V_T$  au patient à une fréquence  $F_i$ .

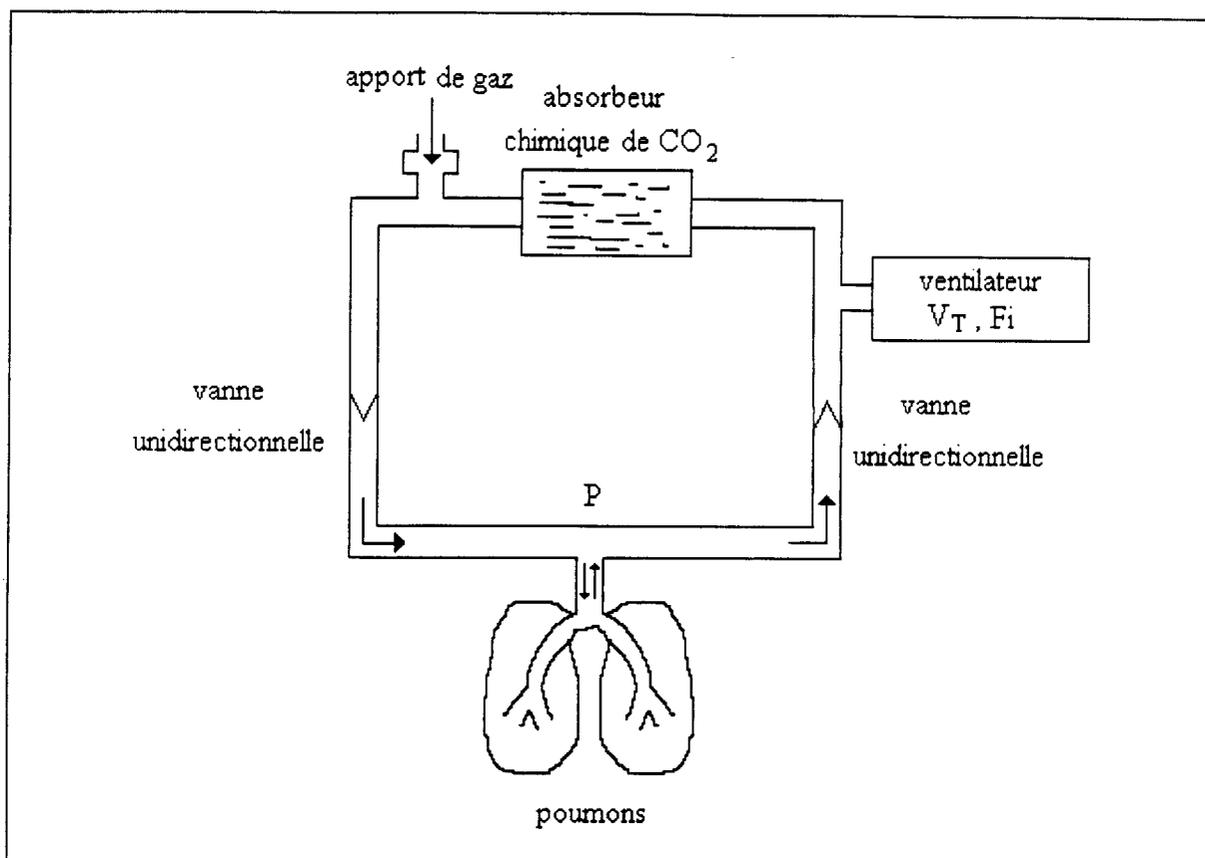


Figure 1 : Système de ventilation en boucle fermée.

## **2 : La mesure des concentrations des gaz**

### **2.1 : Photomètre**

Le prélèvement en continu d'un échantillon gazeux (environ 200 ml/min) au point P permet de mesurer les différentes concentrations des gaz et d'évaluer la fréquence respiratoire. Les concentrations en CO<sub>2</sub>, en N<sub>2</sub>O et en agents anesthésiques (AA) sont généralement mesurées par un photomètre selon le principe de l'absorption de la lumière infrarouge [DATE 90]. La quantité de lumière absorbée est mesurée par le détecteur infrarouge pour trois longueurs d'onde (4,3 μm : pic d'absorption du CO<sub>2</sub>, 3,9 μm : pic d'absorption du N<sub>2</sub>O, 3,3 : μm pic d'absorption des AA). Les signaux issus du détecteur infrarouge sont traités et numérisés pour donner les valeurs numériques instantanées des concentrations. Pour chaque gaz, les valeurs inspirées et expirées sont évaluées par rapport à la courbe de variation temporelle du CO<sub>2</sub> dont l'allure dans des conditions normales (voir figure 2) traduit le phénomène suivant :

- la concentration en CO<sub>2</sub> pendant la phase d'inspiration est nulle,
- la concentration en CO<sub>2</sub> est maximale en fin d'expiration.

La fréquence respiratoire correspond au nombre de pics  $\text{CO}_2$  (fin d'expiration) mesurés par minute. Elle se déduit donc facilement à partir de la courbe présentée figure 2. Une respiration est comptée lorsque la variation de la concentration est supérieure à 1%.

## 2.2 Capteur paramagnétique

La concentration en  $\text{O}_2$  est souvent mesurée par un capteur paramagnétique. Ce capteur utilise les propriétés paramagnétiques de l'oxygène décrites par Linus Pauling. La méthode utilisée consiste à mesurer la différence de pression entre les deux parties d'une chambre de mesure. Une partie de la chambre est traversée par l'échantillon de gaz prélevé sur le malade, l'autre partie est traversée par un gaz de concentration en oxygène connue. Les deux flux gazeux sont aspirés au travers de cette chambre soumise à un champ magnétique. Lorsque les concentrations en oxygène des gaz sont différentes, il apparaît une augmentation de la résistance à aspirer le gaz le plus riche en oxygène. Il en résulte une différence de pression entre les deux parties de la chambre de mesure. Cette différence de pression est mesurable et est directement proportionnelle à la différence entre les deux concentrations. De façon similaire à l'analyse de la concentration en  $\text{CO}_2$ , on détermine les valeurs inspirées de l' $\text{O}_2$  en partant du fait que le taux d' $\text{O}_2$  inspiré est supérieur au taux d' $\text{O}_2$  expiré et que l'allure théorique de la courbe temporelle de la concentration en  $\text{O}_2$  et celle représentée figure 2

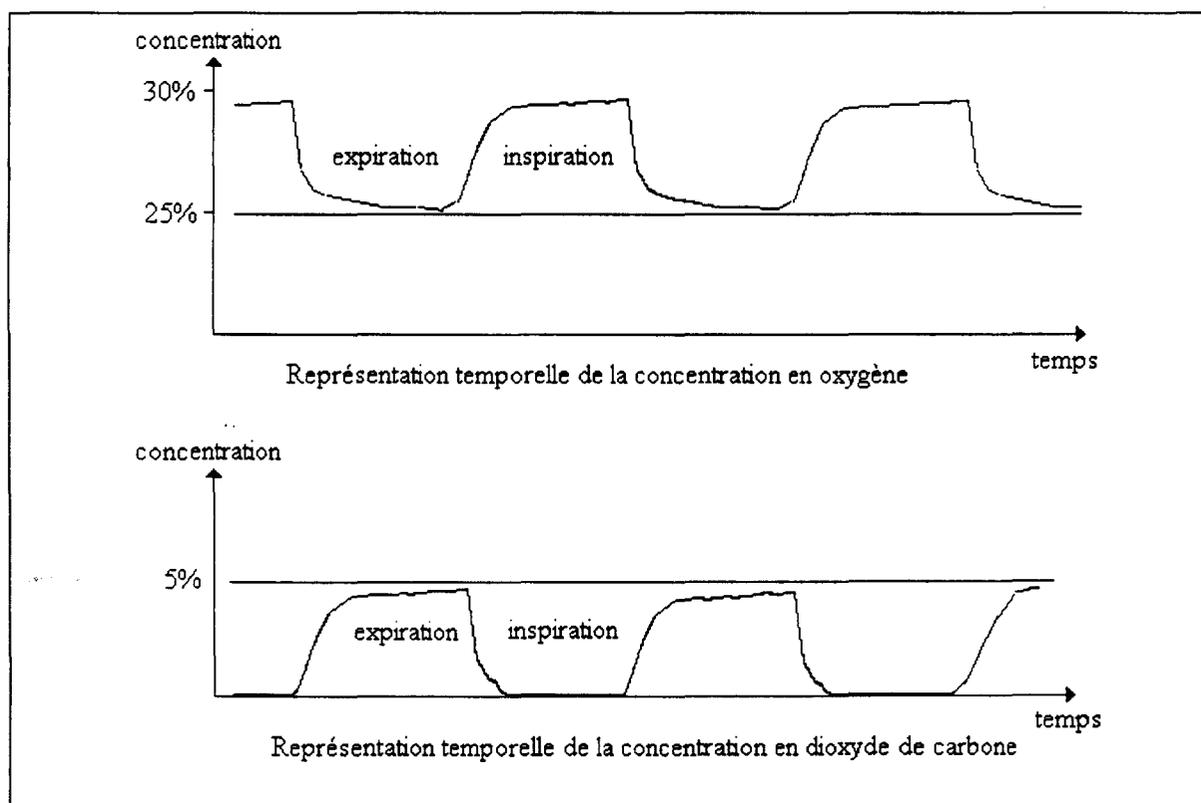
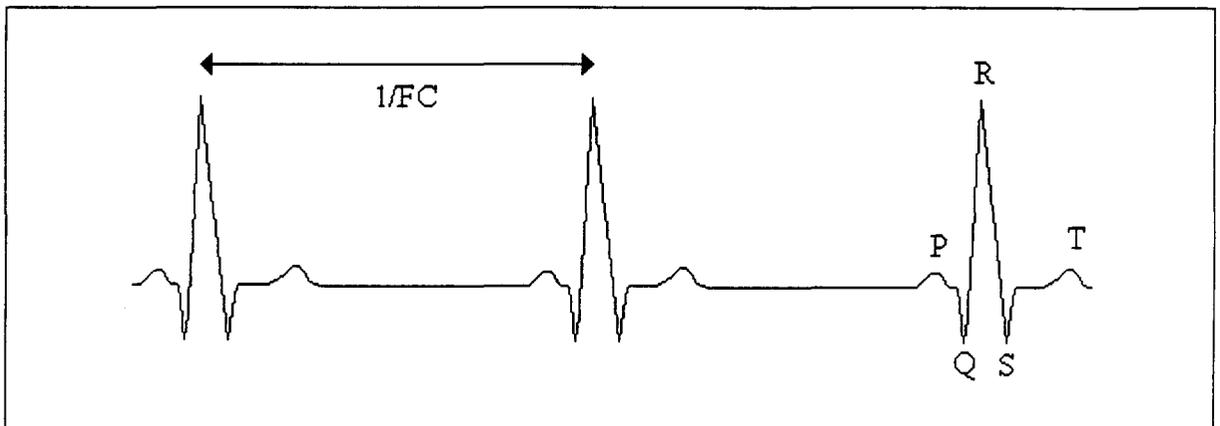


Figure 2 : Représentation des cycles respiratoires

### **3 : Les électrodes**

#### **3.1 : La fréquence cardiaque**

La contraction du coeur donne naissance à un courant électrique qui se propage à une grande vitesse en toute direction dans le corps grâce à la résistance minimale des liquides tissulaires. Des électrodes placées à la surface du tronc ou des membres se trouvent à l'intérieur du champ électrique du coeur et recueillent des différences de potentiel très faibles qui sont le reflet de l'activité cardiaque. L'électrocardiogramme est le signal recueilli aux bornes des électrodes. Il comporte une suite de complexes PQRST qui se reproduisent périodiquement (voir figure 3). La fréquence cardiaque est obtenue en mesurant le nombre d'ondes R (de complexes) en une minute.



*Figure 3 : Exemple d'électrocardiogramme.*

#### **3.2 : La fréquence respiratoire**

L'évaluation de la fréquence respiratoire repose sur la mesure des variations d'impédance thoracique entre deux électrodes. Les électrodes utilisées sont les mêmes que celles servant à l'enregistrement de l'électrocardiogramme.

### **4 : La mesure de la pression artérielle**

La circulation du sang dans le corps humain est régie par le coeur. Le travail effectué par le coeur peut se décomposer en deux phases principales se répétant à un rythme régulier :

- dans un premier temps, les cavités du coeur se dilatent et se remplissent de sang,

- dans un deuxième temps, le muscle cardiaque se contracte pour éjecter le sang vers le système circulatoire.

Du fait même du régime pulsé du flux sanguin imposé par le coeur, la valeur de la pression sanguine à l'intérieur d'une artère, d'une veine, d'un vaisseau n'est pas constante. Elle passe par une valeur maximale, appelée pression systolique correspondant à la contraction du coeur pour éjecter le sang dans le système artériel et par une valeur minimale, appelée pression diastolique correspondant à la phase de remplissage des cavités du coeur. Le maintien de la pression sanguine dépend du retour correct du sang dans les veines caves et de la bonne contraction ventriculaire. Or pendant l'anesthésie, le système cardio-vasculaire est soumis :

- à l'action des drogues,
- à des pertes de sang consécutives aux traumatismes ou à l'opération chirurgicale,
- à la compression de veines, d'artères,
- à l'injection de sang, de colloïdes, de solutions salées.

Afin de surveiller des augmentations excessives (danger de rupture des vaisseaux) ou des chutes importantes (perfusion insuffisante des organes vitaux), la pression sanguine est mesurée en continu par des moyens invasifs (directement dans l'artère ou dans la veine) ou au moins toutes les cinq minutes par de méthodes non invasives (par exemple avec un brassard). Le principe de la mesure par brassard repose sur une méthode oscillométrique. Le brassard, appliqué sur le bras du patient est gonflé à une pression présumée supérieure à la pression artérielle systolique. En le dégonflant lentement, le retour du sang pulsatile dans l'artère provoque des oscillations. La mesure de la fréquence et de l'amplitude de ces oscillations permet de déterminer les pressions artérielles systolique, moyenne, diastolique ainsi que la fréquence cardiaque.

## **5 : L'oxymètre de pouls**

### **5.1 : La mesure de la SaO<sub>2</sub>**

L'oxymètre de pouls est un capteur qui mesure le taux d'oxygène dans le sang capillaire. Il permet de d'estimer que chaque organe vital reçoit suffisamment d'oxygène. Le principe de ce capteur s'appuie sur le fait que la plus grande partie de l'oxygène nécessaire à l'être humain est transportée par l'hémoglobine. L'oxymètre de pouls mesure donc le pourcentage d'oxyhémoglobine (HbO<sub>2</sub>) dans l'hémoglobine totale ( HbO<sub>2</sub> + hémoglobine réduite (Hb)) et la valeur de la SaO<sub>2</sub> est déduite par la relation suivante :

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \times 100$$

Les mesures de HbO<sub>2</sub> et Hb sont basées sur l'absorption de la lumière. Pour ceci, l'oxymètre de pouls se compose d'un capteur électro-optique appliqué généralement sur le doigt du patient et d'un microprocesseur qui traite les mesures. Le capteur électro-optique contient deux diodes électroluminescentes (l'une émettant de la lumière rouge et l'autre de la lumière infrarouge) ainsi qu'une diode photoréceptrice recevant la partie de la lumière émise et non absorbée par le sang et les constituants tissulaires qu'elle traverse (voir figure 4).

Sachant que la quantité de lumière absorbée par les tissus est constante, la SaO<sub>2</sub> est déduite des quantités de lumières rouge et infrarouge absorbées par résolution du système de quatre équations de Beer à 3 inconnues :

$$I_r = I_{o_r} \cdot \exp(-\alpha_{Hb} \cdot L \cdot C_{Hb})$$

$$I_{ir} = I_{o_{ir}} \cdot \exp(-\alpha_{Hb} \cdot L \cdot C_{Hb})$$

$$I_r = I_{o_r} \cdot \exp(-\alpha_{HbO_2} \cdot L \cdot C_{HbO_2})$$

$$I_{ir} = I_{o_{ir}} \cdot \exp(-\alpha_{HbO_2} \cdot L \cdot C_{HbO_2})$$

avec  $I_r$  : intensité de la lumière rouge transmise

$I_{ir}$  : intensité de la lumière infrarouge transmise

$I_{o_r}$  : intensité de la lumière rouge incidente

$I_{o_{ir}}$  : intensité de la lumière infrarouge incidente

$\alpha_{Hb}$  : coefficient donné pour l'hémoglobine réduite à une longueur d'onde fixée

$\alpha_{HbO_2}$  : coefficient donné pour l'oxyhémoglobine à une longueur d'onde fixée

L : distance entre les diodes émettrices et réceptrices

$C_{Hb}$  : concentration en Hb

$C_{HbO_2}$  : concentration en HbO<sub>2</sub>

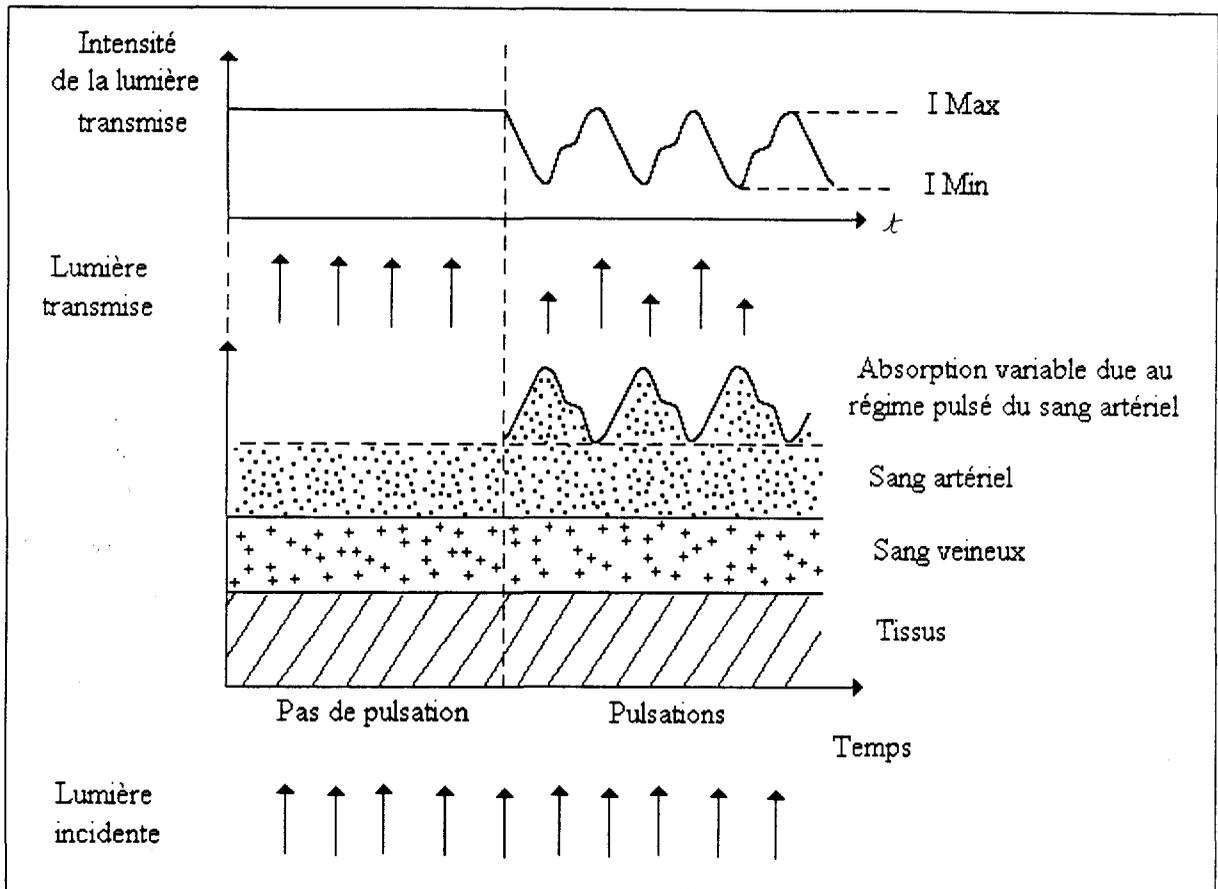


Figure 4 : Absorption de la lumière pour l'oxymètre de pouls.

## **5.2 : L'évaluation de la fréquence cardiaque**

La circulation du sang artériel se fait selon un régime pulsé fonction de la fréquence des battements cardiaques. La quantité de sang artériel circulant à l'endroit où est placé le capteur n'est donc pas toujours la même. (Le flux veineux quant à lui reste constant). L'oxygène étant apporté par le sang artériel, les changements du volume sanguin au niveau du site de mesure influent sur les quantités de lumière absorbées. Par conséquent, de la courbe donnant l'intensité de la lumière transmise en fonction du temps (courbe de pouls plethymographique), il devient possible de déduire la fréquence cardiaque (nombre de motifs par minute).



## Références bibliographiques

- [AFNOR 84] Norme Française NF X 07-001 - *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* - Décembre 1984., 39 pages.
- [AFNOR 87] Norme Internationale ISO 9000 - *Normes pour la gestion de la qualité et l'assurance de la qualité - Lignes directrices pour la sélection et l'utilisation* - 1987, 6 pages.  
Norme Internationale ISO 9001 - *Systèmes qualité - Modèle pour l'assurance de la qualité en conception/développement, production, installation et soutien après la vente*, 1987, 7 pages.  
Norme Internationale ISO 9002 - *Systèmes qualité - Modèle pour l'assurance de la qualité en production et installation*, 1987, 6 pages.  
Norme Internationale ISO 9003 - *Systèmes qualité - Modèle pour l'assurance de la qualité en contrôle et essais finals*, 1987, 3 pages.  
Norme Internationale ISO 9004 - *Gestion de la qualité et éléments de synthèse qualité - Lignes directrices* - 1987, 18 pages.
- [AFNOR 88] Norme X 50-127 - *Gestion de la qualité - Recommandations pour obtenir et assurer la qualité en conception* - Janvier 1988, 14 pages.
- [AFNOR 90] Norme Française NF X 50-150 - *Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle, Vocabulaire* - Août 1990, 13 pages.  
Norme Française NF X 50-151 - *Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle, Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel* - Décembre 1991, 27 pages.  
Norme Française NF X 50-152 - *Analyse de la valeur, Caractéristiques fondamentales* - Août 1990, 12 pages.  
Normalisation française X 50-153 - *Analyse de la valeur, Recommandations pour sa mise en oeuvre* - Mai 1985, 24 pages.
- [AFNOR 92] Norme Expérimentale PR Z 68-901, *Représentation des systèmes de contrôle et de commande des systèmes automatisés* - Projet : Génie Automatique, janvier 1992.
- [ALBE 92] Albertos P., Crespo A., Morant F., Navaro J. L. - *Intelligent controllers issues* - IFAC SICICA'92, Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications, Malaga (Spain), May 20-22, 1992.
- [ARAG 89] Arago 8 - *Systèmes experts et conduites de processus* - Rapport de synthèse du groupe Systèmes Experts, Observatoire Français des Techniques Avancées, Masson, 1989, 140 pages.
- [ASCH 87] Asch G. - *Les capteurs en instrumentation industrielle* - Dunod, 1987.
- [BAIL 92] Baillieu F., Delapierre G., Estève D. - *L'enjeu technologique des microcapteurs* - La recherche, N°248, Vol.23, Novembre 1992, pp. 1238-1246.

- [BAYA 92] Bayart M., Géhin A.L., Staroswiecki M. - *Fault detection and isolation and mode management in smart actuators* - IFAC SICICA'92, Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications, Malaga (Spain), May 20-22, 1992.
- [BAYA 93] Bayart M., Staroswiecki M. - *A generic functional model of smart instrument for distributed architectures* - Intelligent Instrumentation for remote and on site measurement, Brussels, Belgium, May 12-13, 1993.
- [BEAU 93] Beaudouin F., Favennec J. M. - *Les capteurs intelligents : le concept et les enjeux* - Revue Générale d'Electricité, N°3, Mars 1993, pp. 1-8.
- [BENO 93] Benoit E. - *Capteurs symboliques et capteurs flous : un nouveau pas vers l'intelligence* - Thèse de l'Université Joseph Fourier de Grenoble I, Janvier 1993, 164 pages.
- [BHAL 90] Pigeron B, Mullot H., Chaix A., Félix L. Aubert Y. - *Boucles de régulation - Etude et mise au point* - 2ème édition, Editions Kirk, Collection Industrie, 1990, 305 pages.
- [BOET 89] Boettcher J., Traenkler H.R. - *Trends in intelligent instrumentation* - Second IFAC symposium on Low Cost Automation, Milan, November 8-9, 1989.
- [CASS 92] Cassar J. P., Bayart M., Staroswiecki M. - *Hierarchical data validation in control systems using smart actuators and sensors* - IFAC SICICA'92, Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications, Malaga (Spain), May 20-22, 1992.
- [CIAM 87] Ciame - Afcet - *Livre blanc : Les capteurs intelligents - Réflexions des utilisateurs* - 1987, 169 pages.
- [CIAM 91] Ciame : Groupe de travail Système - *Fonctionnalités système des constituants intelligents* - Mesucora, Paris, 18-22 novembre 1991, p. 37-48.
- [CRES 93] Crestan H., Eugène C., Hogge X., Houtrelle E., Lenchant P. - *Développement d'un tensiomètre artériel ambulatoire* - Revue Générale d'Electricité, N°3, Mars 1993, pp. 16-21.
- [CUNN 81] Cunningham M.J. - *Measurement errors and instrument inaccuracies* - J. Phys. E : Sci. Instrum., Vol. 14, 1981, pp. 901-908.
- [DAVI 89] David R., Alla H. - *Du grafset au réseau de Pétri* - Editions Hermès, Paris 1989.
- [DATE 90] Datex Instrumentation - *Capnomac Ultima Service Manual* - 1990.
- [DELM 93] Delmas G. - *Crédibilité des systèmes de contrôle commande : concept et outils* - Revue Générale d'Electricité, N° 9, Octobre 1993, pp. 23-28.
- [DESP 91] Desprès S. M. - *Automatisation des systèmes de production - Du besoin à l'utilisation* - Editions Kirk, 1991, 466 pages.
- [DRAG 87] Dräger - *Anémone Monitoring de ventilation Notice d'utilisation* - 1ère édition, Mars 1987, 47 pages.
- [DUBU 90] Dubuisson B. - *Diagnostic et reconnaissance des formes* - Traité des Nouvelles Technologies, Série Diagnostic et Maintenance, Hermès, 1990, 317 pages.
- [ELLO 92] Elloy J.P. - *Messagerie Industrielle et Temps Critique* - Les entretiens de la technologie, Paris, 24-25 mars 1992, 6 pages.

- [FARR 85] Farreny H. - *Les systèmes experts : principes et exemples* - Collection Techniques Avancées de l'Informatique, Cépadués, 1985, 254 pages.
- [FAVE 87] Favennec J.M. - *Smart sensors in industry* - Journal of Physics E : Scientific Instruments, Vol. 20, Septembre 1987, pp. 1087-1990.
- [FISH 92] Fisher Control, Rosemount, Siemens, Yokogawa - *Interoperable System Project : Field Bus Specification* - Version 1.0, 25/11/92.
- [FOUL 90] Foulloy L. - *Du contrôle symbolique des processus : démarche, outils, exemples* -Thèse d'Etat, Université de Paris Sud, Septembre 1990, 200 pages.
- [GEHI 91] Géhin A.L. - *Etude fonctionnelle de l'actionneur intelligent* - Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, juillet 1993, 68 pages.
- [GEHI 93 a] Géhin A.L., Logier R., Bayart M., Staroswiecki M., Delecroix M., Cantineau D. - *Data validation for improving anesthesia supervision* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [GEHI 93 b] Géhin A.L., Logier R., Bayart M., Staroswiecki M., Cantineau D., Delecroix M. - *Application of the smart sensor concept to the anesthesia supervision* - 15th Annual International Conference, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, San Diego, October 28-31, 1993.
- [GIAM 85] Giambiasi N., Rault J.C., Sabonnadière J.C. - *Introduction à la conception assistée par ordinateur* - 2<sup>ème</sup> édition - Hermès, 1985, 210 pages.
- [GRAV 88] Gravenstein J.S., Van Der Aa J.J. - *Monitoring in anesthesia* - Encyclopedia of medical devices and instrumentation, J.G. Webster, Wiley Interscience Publication, 1988, Vol. 3, pp. 1932-1950.
- [HAMA 86] Hamad M. - *Validation des mesures et détection des capteurs défaillants dans un système de contrôle commande* - Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Juin 1986, 130 pages.
- [HARE 87] Harel D. - *Statecharts : a visual formalism for complex systems* - Science of Computer Programming, 1987, pp. 231-274.
- [ICHI 90] Ichinose N., Kobayashi T. - *Guide pratique des capteurs* - Collection Mesures Physiques, Masson, 1990, 198 pages.
- [IGL 88] I.G.L. Technology - *SADT un langage pour communiquer* - Eyrolles, 1988, 336 pages.
- [ISER 92] Isermann R., Raab U. - *Intelligent actuators - Ways to Autonomous Actuating Systems* - IFAC SICICA'92, Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications, Malaga (Espagne), May 20-22, 1992.
- [JAUM 93] Jaume D., Vergé M., Bernede D. - *Monitoring drilling wear state using vibration based diagnosis* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [KAFF 88] Kafer E.R., Gratta A., Clapham M.C., Watson C.B. - *Ventilators for anesthesiology* - Encyclopedia of medical devices and instrumentation, J.G. Webster, Wiley Interscience Publication, 1988, Vol. 4, pp. 2847-2858.
-

- [KUNT 81] Kunt M. - *Traitement numérique des signaux* - Traité d'électricité, d'électronique et d'électrotechnique, Dunod, 3<sup>ème</sup> édition, 1981, 402 pages.
- [LAIN 91] Lainé T. - *Modélisation d'applications réparties pour la configuration automatique d'un bus de terrain* - Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Centre de recherche en Informatique de Nancy, Mai 1991, 146 pages.
- [LAMY 87] Lamy P. - *Ordonnancement et gestion de production* - Hermès, 1987, 215 pages.
- [LETE 89] Leterrier P., Thomesse J.P. - *Application et base de données industrielles réparties* - Minis & Micros, N° 328, Octobre 1989, page 36.
- [LOGI 91] Logier R. - *Surveillance de l'ischémie myocharidique par analyse morphologique en temps réel de l'électrocardiogramme* - Mémoire de D.E.A., Université des Sciences et Technologies de Lille, Septembre 1991, 43 pages.
- [LOGI 92] Logier R., Géhin A.L., Staroswiecki M., Delecroix D. - *Capteurs intelligents et monitoring médical* - Colloque International "Du capteur à l'instrumentation", Rabat (Maroc), 20-25 avril 1992.
- [LOGI 93a] Logier R., Arcas group, Géhin A.L., Bayart M., Staroswiecki M. - *Automated monitoring of respiratory mechanics in mechanically ventilated children* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [LOGI 93b] R. Logier, Arcas group, A.L. Géhin, M. Bayart, M. Couvreur, M. Staroswiecki - *A new tool for respiratory monitoring and pulmonary mechanics measurements in mechanically ventilated children* - 15th Annual International Conference, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, San Diego, October 28-31, 1993.
- [MARI 87] Marie G. - *La pratique des automates programmables industriels. Procédures d'utilisation - Langages et techniques de programmation - Structure et mise en oeuvre* - Les "manuels professionnels", collection de l'Usine Nouvelle, Editions du Moniteur, 1987, 256 pages.
- [MAUR 93] Mauris G., Benoit E., Foulloy L. - *Ultrasonic Smart Sensors the Importance of the Measurement Principle* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [MENZ 93] Menz W. - *Treedimensional Microstructures in various Materials for Medical Applications* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [MONC 87] Monchy F., *La fonction maintenance - Formation à la gestion de la maintenance industrielle* - Collection Technologie, Editions Masson, 1987, 445 pages.
- [NAJA 91] Najafi K. - *Smart sensors* - J. Micromech. Microeng., Vol. 1, 1991, pp. 86-102.
- [NOIZ 91] Noizette J.L. - *Méthodologie de conception des capteurs intelligents. Application à un capteur granulométrique* - Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, Nancy, Novembre 1991, 257 pages.
- [PATT 89] Patton R., Frank P., Clark R. - *Fault Diagnosis in Dynamic System - Theory and Applications* - Prentice Hall International Series in Systems and Control Engineering (U.K.), 1989, 602 pages.

- [PEAR 93] Pearce T.C., Gardner J. W., Friel S. - *Machine olfaction : Intelligent Sensing of Odours* - IEEE / SMC'93 Conference, Le Touquet (France), October 17-20, 1993.
- [RAGO 90] Ragot J., Darouach M., Maquin D., Bloch G. - *Validation de données et diagnostic* - Traité des nouvelles technologies, Hermès, Paris, 1990.
- [ROBE 93] Robert M., Marchandiaux M., Porte M. - *Capteurs Intelligents et Méthodologie d'Evaluation* - Hermès, 1993, 155 pages.
- [ROLI 91] Rolin P. - *Réseaux locaux - Normes et protocoles* - 4ème édition, Traité des Nouvelles Technologies, Série Automatique, Hermès, 1991, 720 pages.
- [SAUT 91] Sauter D., Cecchin T., Brie D., Aubrun M. - *Adaptative detection and accomodation of sensor faults* - European Control Conference, july 2-5, 1991, Grenoble.
- [SOL 92] Sol C., Clergeot H., Placko D. - *Les capteurs intelligents : des maillons essentiels pour la robotique* - Science Technique Technologie, N° 2, 1992, pp. 4-10.
- [STAR 92 a] Staroswiecki M. - *Les systèmes et le concept d'instrumentation intelligente* - Ingénieurs et Scientifiques de France, Le progrès Technique, N° 2, 1992, pp.35-42.
- [STAR 92 b] Staroswiecki M., Bayart M., Cassar J.P. - *Repartition of fault detection procedures in distributed intelligent automatisaton systems* - 8<sup>th</sup> IMECO Symposium on "Technical Diagnostics", Dresde (Allemeagne).
- [STAR 94] Staroswiecki M., Bayart M. - *Actionneurs Intelligents* - Hermès, 1994 (à paraître).
- [TISC 92] Tischer M. - *La bible PC* - Editions Micro Application, 3ème édition, 1992, 1545 pages.
- [TOCC 88] Tocci R. J. - *Circuits numériques : théorie et applications* - Dunod, 1988, 549 pages.
- [UTE 92] UTE C 46-645 - *Bus FIP pour échange d'informations entre transmetteurs, actionneurs et automates. Guide de rédaction des normes d'accompagnement* - Texte final provisoire, 07/08/92, 121 pages.
- [VALL 91] De La Vallée Poussin, Tedesco - *Projet Esprit 2172 DIAS Distributed Intelligent Actuators and Sensors* - L'instrumentation intelligente, journée organisée par le CIAME, Paris, 18 avril 1991.
- [VISH 91] Vishnoi R., Roy R.J. - *Adaptative Control of Closed-Circuit Anesthesia* - IEEE transactions on biomedical engineering, Vol. 38, N° 1, January 1991, pp. 39-46.
- [VISI 87] Visintini G. - *Comment augmenter sa productivité par la maintenance ?* - Editions du Moniteur, Collection de l'Usine Nouvelle, 1987, 205 pages.
- [WEST 92] Westbrook J. - *Device Description Language Specification* - Document COM-20, revision B, 24/04/92.
- [ZADE 65] Zadeh L.A. - *Fuzzy sets* - Information and control, 1965, Vol. 8, pp. 338-353.
- [ZADE 73] Zadeh L.A. - *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes* - IEEE trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1973, Vol. SMC3, N°1, pp. 28-44.
- [ZWIN 83] Zwingelstein G. - *Méthodes de détection et localisation de capteurs défailants et techniques de validation de mesures analogiques : application aux processus énergétiques complexes* - Rapport HP 40/83/381, E.D.F. Chatou, Juin 83.



# Tables des matières

Remerciements.....	3
Introduction Générale.....	5

## 1<sup>ère</sup> partie : Présentation du capteur intelligent

Introduction de la première partie .....	9
--	---

### Chapitre 1

#### **Le capteur : objet finalisé**

1.1 : Introduction .....	11
1.2 : Modèle fonctionnel du capteur.....	11
1.3 : Modèles de comportement d'un capteur .....	14
1.3.1 : Le capteur idéal .....	14
1.3.2 : Le capteur réel.....	15
1.4 : La chaîne de mesure .....	19
1.5 : Performances et limites d'un capteur .....	20
1.5.1 : Critères métrologiques [ASCH 87], [AFNOR 84] .....	21
1.5.1.1 : Les erreurs de mesure.....	21
1.5.1.2 : La fidélité .....	22
1.5.1.3 : La justesse .....	22
1.5.1.4 : La précision.....	23
1.5.2 : Critères d'utilisation.....	23
1.5.2.1 : Les conditions environnementales.....	23
1.5.2.2 : La finesse.....	24
1.5.2.3 : L'étendue de mesure .....	24
1.5.2.4 : Domaine de non-détérioration, domaine de non-destruction.....	25
1.5.2.5 : La sensibilité .....	25
1.5.2.6 : La mobilité - la résolution .....	26
1.5.2.7 : Le temps de réponse .....	26
1.5.2.8 : La fréquence de coupure .....	27
1.5.3 : Critères de sûreté de fonctionnement.....	28
1.5.3.1 : La fiabilité .....	28
1.5.3.2 : La maintenabilité.....	29
1.5.3.3 : La disponibilité.....	29
1.5.3.4 : L'intégrité .....	29
1.5.3.5 : La sûreté.....	30
1.5.3.6 : La crédibilité .....	30
1.5.3.7 : La durabilité .....	30
1.6 : Les améliorations possibles .....	31
1.6.1 : Amélioration de la fonction Mesurer.....	32
1.6.1.1 : L'amplification.....	32
1.6.1.2 : L'adaptation .....	33
1.6.1.3 : Le filtrage.....	33
1.6.1.4 : L'autocompensation.....	34

1.6.1.5 : L'autocalibration.....	34
1.6.1.6 : Le multiplexage.....	34
1.6.1.7 : La modélisation.....	35
1.6.2 : Amélioration de la fonction Interfacer.....	35
1.7 : Conclusion.....	37

## Chapitre 2

### **Le capteur constituant d'un système automatisé de production**

2.1 : Introduction.....	39
2.2 : Le système automatisé de production.....	40
2.2.1 : Le processus physique.....	41
2.2.2 : Le système d'automatisation.....	42
2.2.3 : Les opérateurs exploitants.....	42
2.3 : Les services du système d'automatisation.....	43
2.3.1 : L'activité : Conduire.....	43
2.3.2 : L'activité : Maintenir [MONC 87].....	45
2.3.3 : L'activité : Gérer.....	47
2.3.3.1 : Gérer la production.....	47
2.3.3.2 : Gérer techniquement.....	48
2.4 : Les traitements du système d'automatisation.....	49
2.4.1 : Notion de service.....	50
2.4.2 : Structure de la base de données.....	50
2.4.3 : Structure du R.T.P.O.S.....	52
2.4.3.1 : Le système d'information.....	52
2.4.3.2 : Le système de décision.....	53
2.4.3.3 : Le système d'application.....	53
2.4.3.4 : Le système de communication.....	53
2.5 : Structure fonctionnelle du capteur intelligent.....	54
2.5.1 : Les fonctions d'information.....	54
2.5.2 : La fonction d'application.....	55
2.5.3 : Les fonctions de décision.....	56
2.5.4 : La fonction de communication.....	57
2.5.5 : Structure fonctionnelle.....	57
2.6 Intégration dans le S.A.P.....	58
2.7 Conclusion.....	60

## Chapitre 3

### **Le cycle de vie du capteur intelligent**

3.1 : Introduction.....	61
3.2 : Diagramme Faire Vivre (planche A-0).....	64
3.3 : Décomposition de Faire Vivre (planche A0).....	65
3.3.1 : L'activité : Concevoir.....	65
3.3.2 : L'activité : Produire et commercialiser.....	67
3.3.3 : L'activité : Utiliser.....	68
3.4 : Décomposition de Concevoir (planche A1).....	69
3.4.1 : L'activité : Spécifier.....	70
3.4.2 : L'activité : Etudier la faisabilité.....	70
3.4.3 : L'activité : Développer les prototypes.....	71
3.4.4 : L'activité : Qualifier les prototypes.....	71
3.4.5 : L'activité : Certifier la conformité.....	72
3.4.6 : L'activité : Industrialiser.....	72
3.5 : Décomposition de Produire et commercialiser (planche A2).....	72

3.5.1 : L'activité : Fabriquer .....	73
3.5.2 : L'activité : Configurer la technologie .....	73
3.5.3 : L'activité : Contrôler la conformité .....	74
3.5.4 : L'activité : Commercialiser .....	75
3.6 : Décomposition de Utiliser (planche A3) .....	76
3.6.1 : L'activité : Planter .....	76
3.6.2 : L'activité : Exploiter .....	77
3.6.3 : L'activité : Maintenir .....	78
3.6.4 : L'activité : Démanteler .....	79
3.7 : Conclusion .....	80
Planches S.A.D.T. ....	83
<b>Conclusion de la première partie .....</b>	<b>93</b>

## 2ème partie : Modèles d'un capteur

<b>Introduction de la deuxième partie .....</b>	<b>95</b>
---	-----------

### Chapitre 4

#### **Analyse fonctionnelle du capteur intelligent**

4.1 : Introduction .....	97
4.2 : Diagramme : Fonctionner (planche A-0) .....	98
4.3 Décomposition du diagramme Fonctionner (planche A0) .....	100
4.3.1 : L'activité : Interfacer en entrée .....	100
4.3.2 : L'activité : Mesurer .....	101
4.3.3 : L'activité : Interfacer en sortie .....	102
4.4 Décomposition du diagramme Interfacer en entrée (planche A1) .....	103
4.4.1 : L'activité : Recevoir .....	103
4.4.2 : L'activité : Décoder .....	105
4.4.3 : L'activité : Interpréter .....	105
4.4.4 : L'activité : Valider en entrée .....	105
4.5 : Décomposition du diagramme : Mesurer (planche A2) .....	106
4.5.1 : L'activité : Gérer l'application .....	106
4.5.2 : L'activité : Réaliser l'application .....	107
4.5.3 : Décomposition du diagramme : Gérer l'application (planche A21) .....	107
4.5.3.1 : Gérer les modes de marche .....	108
4.5.3.2 : Gérer les activités .....	108
4.5.4 : Décomposition du diagramme : Réaliser l'application (planche A22) .....	109
4.5.4.1 : L'activité : Acquérir .....	109
4.5.4.2 : L'activité : Traiter .....	109
4.5.5 : Décomposition du diagramme Acquérir (planche A221) .....	110
4.5.5.1 : L'activité : Générer les signaux .....	110
4.5.5.2 : L'activité : Mettre en forme .....	110
4.5.6 : Décomposition du diagramme : Traiter (planche A222) .....	110
4.5.6.1 : L'activité : Elaborer les grandeurs principales .....	111
4.5.6.2 : L'activité : Surveiller .....	111
4.5.6.3 : L'activité : Générer des informations .....	111
4.5.6.4 : L'activité : Gérer la base de données locale .....	112
4.6 : Décomposition du diagramme : Interfacer en sortie (planche A3) .....	112
4.6.1 : L'activité : Interpréter .....	113
4.6.2 : L'activité : Coder .....	113
4.6.3 : L'activité : Emettre .....	113

4.6.4 : L'activité : Valider en sortie .....	114
4.7 Conclusion .....	114
Planches S.A.D.T. ....	117

## Chapitre 5

### **Modèle externe d'un capteur**

5.1 : Introduction .....	135
5.2 : Le système de communication .....	136
5.2.1 : Les informations échangées .....	136
5.2.1.1 : Les données consommées par le capteur .....	137
5.2.1.2 : Les données produites par le capteur .....	138
5.2.2 : La représentation de l'information .....	139
5.3 : Le langage d'interopérabilité : différentes approches .....	141
5.3.1 : L'approche D.D.L. [WEST 92], [FISH 92] .....	141
5.3.2 : L'approche Blocs Exécutifs [UTE 92] .....	147
5.4 : Le modèle externe développé .....	155
5.4.1 : Les services .....	155
5.4.2 : L'organisation des services .....	156
5.4.2.1 : Les modes d'utilisation .....	156
5.4.2.2 : La disponibilité des ressources .....	158
5.4.2.3 : L'autorisation de la requête .....	160
5.4.3 : L'exécution d'un service .....	163
5.4.3.1 : La localisation d'un service .....	165
5.4.3.2 : La répétition d'un service .....	166
5.4.3.3 : Les requêtes implicites .....	166
5.5 : Conclusion .....	167
<b>Conclusion de la deuxième partie .....</b>	<b>169</b>

## 3ème partie : Application à la surveillance de l'anesthésie

<b>Introduction de la troisième partie .....</b>	<b>171</b>
--	------------

## Chapitre 6

### **Réalisation d'un multicapteur dédié à la surveillance de l'anesthésie**

6.1 : Introduction .....	173
6.2 : L'architecture matérielle .....	175
6.2.1 : L'existant .....	175
6.2.2 : Les contraintes et exigences .....	176
6.2.3 : La solution retenue .....	177
6.3 : Le modèle externe .....	178
6.3.1 : Les utilisateurs .....	178
6.3.2 : Les modes d'utilisation .....	180
6.3.3 : La base de données .....	182
6.3.4 : Les services .....	185
6.3.5 : La gestion des modes d'utilisation .....	187
6.3.6 : La gestion des modes de marche .....	189

6.4 : Mise en oeuvre du modèle interne [GEHI 93 b] .....	194
6.4.1 : Le traitement des requêtes .....	194
6.4.1.1 : Interfacer en entrée.....	195
6.4.1.2 : Gérer les activités.....	196
6.4.1.3 : Gérer les modes de marche .....	197
6.4.1.4 : Interfacer en sortie.....	198
6.4.2 : Réalisation du service Acquisition-Traitement-Sauvegarde des grandeurs physiologiques .....	198
6.4.2.1 : Acquérir .....	200
6.4.2.2 : Interfacer en entrée.....	201
6.4.2.3 : Surveiller.....	202
6.4.2.4 : Générer des informations .....	204
6.4.2.5 : Gérer la base de données .....	204
6.5 : Conclusion.....	205
<b>Conclusion de la troisième partie .....</b>	<b>207</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>209</b>
<u><b>Annexes</b></u>	
<b>Annexe 1</b>	
Présentation de la méthode S.A.D.T .....	211
<b>Annexe 2</b>	
Ventilation en circuit fermé et principe de mesure de quelques paramètres .....	217
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>225</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>231</b>