

vis écrou à billes, le pilotage d'un moto variateur soumis à une charge entraînant,...

### *Les solutions constructives*

Pour les approches externes et internes, la figure 5 résume les constituants qui feront l'objet d'une étude concrète au travers d'un cas typique de la famille de solutions qu'il représente.

### **Les objectifs et la forme des activités**

Les activités proposées s'appuient sur des problématiques techniques authentiques donnant du sens aux apprentissages visés.

Elles doivent mettre l'accent sur les points suivants :

- les transformations (en grandeur), les conversions (en nature) de l'énergie dans le système en relation au cahier des charges ;
- les interactions (points et grandeurs physiques d'interfaçage) de la chaîne d'énergie avec la chaîne d'information pour la commande et le contrôle du système ;
- le fonctionnement (principes et grandeurs influentes) de constituants de la chaîne d'énergie représentatifs des solutions actuelles dont l'étude génère l'acquisition de savoirs et savoir-faire transférables ;
- l'appréhension de solutions constructives associées aux fonctions techniques qui coopèrent au sein du système ;
- l'identification d'un comportement physique réel, des paramètres qui l'influencent, et l'association d'un modèle justifié, dont les limites sont comprises et connues de l'élève.

Les produits et systèmes présents dans le laboratoire, issus de l'environnement quotidien ou des milieux industriels, doivent être représentatifs des principales énergies évoquées dans le programme. Les travaux pratiques et les cours s'appuient essentiellement sur tout ou partie de ces produits et systèmes réels et/ou sur leurs représentations informatisées sans préjudice des aides multimédia qu'il convient désormais d'utiliser.

Les activités pourront prendre diverses formes :

- décrire d'un point de vue utilisateur la structure fonctionnelle de la chaîne d'énergie ;
- repérer et caractériser les grandeurs d'entrée et sortie de chaque élément fonctionnel pour justifier du choix du sous-système ou du constituant correspondant ;
- identifier les échanges entre la chaîne d'énergie et la chaîne d'information pour garantir un fonctionnement donné, câbler et mettre en œuvre le système ;
- comparer, en les testant selon des critères fournis, plusieurs solutions constructives afin de justifier un choix ;
- tester, régler un constituant de la chaîne, l'implanter, puis mettre en œuvre le système dans des conditions spécifiées par le cahier des charges pour en vérifier le bon fonctionnement ;
- assembler, câbler et interconnecter les constituants d'une chaîne d'énergie, procéder aux réglages nécessaires à sa mise en œuvre ;
- observer, identifier un phénomène, lui associer un modèle, simuler informatiquement le fonctionnement de tout ou partie d'un constituant à l'aide d'un

modèle fourni pour valider le fonctionnement réel de la solution constructive ;

- modifier tout ou partie d'une solution constructive d'un constituant de la chaîne d'énergie en réponse à une évolution du cahier des charges.

---

## La chaîne d'information

### **Evolution actuelle**

Depuis les années 80, l'informatique (au sens du traitement automatique de l'information), grâce à sa flexibilité et à la variété de ses applications, a profondément modifié notre société. Traditionnellement réservée au calcul scientifique et à la gestion, elle couvre aujourd'hui de très nombreux domaines :

- production de documents ;
- téléphonie et audiovisuel ;
- automatisation pour l'exploitation des procédés industriels et des transports ;
- aide à la conception et au travail en équipe ;
- échange et partage de données et d'applications logicielles ;
- etc.

L'informatisation de la commande et de la gestion des processus industriels génère des mutations technologiques dans les entreprises, où l'accès à l'information devient essentiel : accélération du rythme de renouvellement des produits, adaptation permanente des gammes à la demande, coordination des activités de différents sites industriels, implication forte des fournisseurs et des clients, amélioration des délais de production et de livraison, et de la qualité.

Les architectures des automatismes ont aussi très fortement évolué depuis quelques années. L'intégration dans les produits et systèmes des nouvelles technologies de l'information et de la communication se concrétise par l'apparition de nouvelles générations d'équipements. De plus en plus de traitements sont inclus au niveau des capteurs et des actionneurs et la décentralisation des entrées/sorties et des périphériques de dialogue homme/machine se développe avec l'avènement des BUS de terrain. Les standards mondiaux Ethernet et TCP-IP permettent une meilleure intégration entre les automatismes et l'informatique de pilotage et de gestion, les automates programmables deviennent accessibles depuis Internet pour faciliter certaines opérations de surveillance, maintenance, pilotage à distance.

Les objets de l'environnement quotidien s'informatisent et deviennent communicants : automobiles, appareils électroménagers, appareils audiovisuels, agendas, téléphones mobiles, etc. Ces divers objets informatisés, dont la conception s'appuie sur les sciences fondamentales, sont constitués de composants matériels et logiciels dont l'architecture et le fonctionnement interne ne sont plus directement et facilement accessibles (intérieur de circuits intégrés, programmes qui les mettent en œuvre, etc.). Le programme de SI prend en compte cette évolution en renforçant l'approche par fonctions techniques, qui fait référence aux caractéristiques globales et aux interfaces des composants.

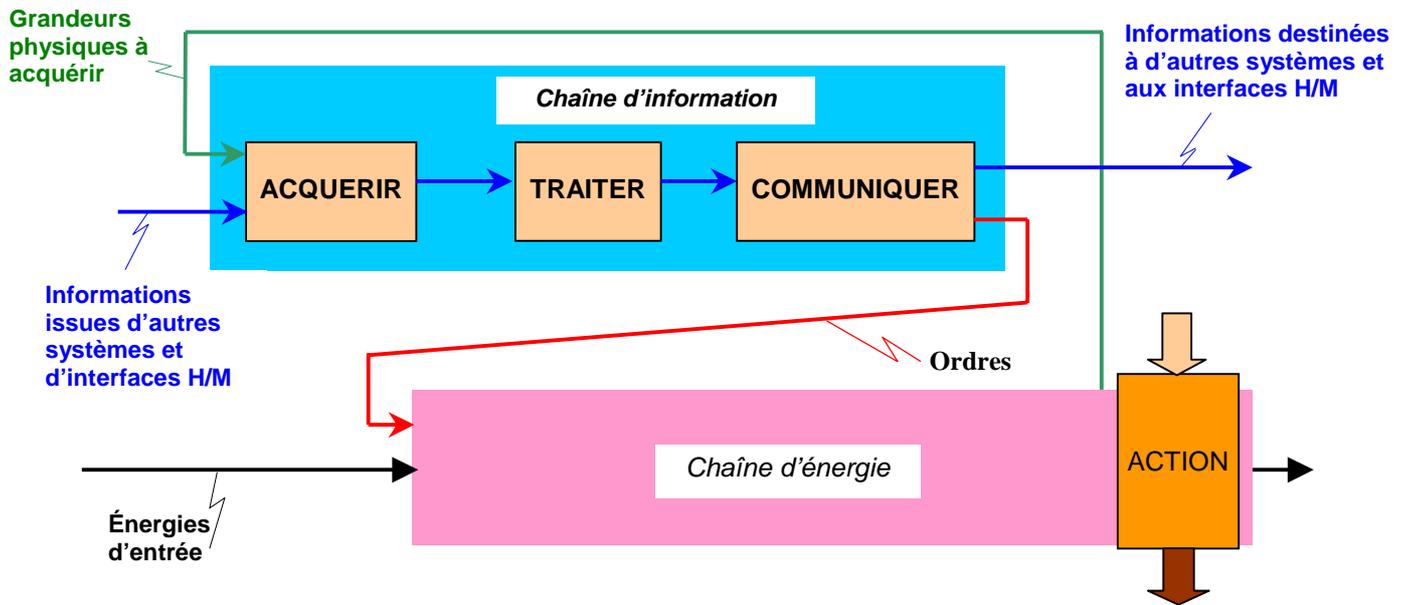


Figure 6 : Chaîne d'information dans la structure fonctionnelle générale d'un système pluritechnique.

### Le concept de chaîne d'information

Afin d'aborder l'analyse, l'exploitation et la conception de systèmes de traitement de l'information d'une grande diversité, la démarche proposée en SI s'appuie sur la notion générique de *chaîne d'information* définie au programme, éventuellement associée à une chaîne d'énergie pour constituer une chaîne d'action.

La chaîne d'information permet :

- d'acquérir des informations ;
  - sur l'état d'un produit ou de l'un de ses éléments (en particulier de la chaîne d'énergie),
  - issues d'interfaces homme/machine ou élaborées par d'autres chaînes d'information,
  - sur un processus géré par d'autres systèmes (consultation de bases de données, partage de ressources,...),
- de traiter ces informations ;
- de communiquer les informations générées par le système de traitement pour réaliser l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie ou (et) pour élaborer des messages destinés aux interfaces

homme/machine (ou à d'autres chaînes d'information).

En veillant à ce que les systèmes présents dans le laboratoire soient représentatifs de plusieurs classes de systèmes industriels et grand public, le schéma de la figure 6 pourra faire l'objet d'un développement différent suivant le support d'étude : système de contrôle-commande à base d'automate programmable avec une interface homme-machine, système équipé d'un microcontrôleur ou système de communication.

Cette représentation topofonctionnelle met en valeur la structure d'une chaîne d'information et les flux d'information entrant et sortant, ainsi que les flux d'information échangés entre les fonctions techniques acquérir, traiter et communiquer.

### Les approches externe et interne de la chaîne d'information

En présence du produit et d'un dossier ressource (documents techniques, bases de données constructeurs, etc.), les approches externe et interne de la chaîne d'information permettent, pour chacune des trois fonctions techniques acquérir, traiter et communiquer, l'étude des solutions constructives associées et de leur comportement.

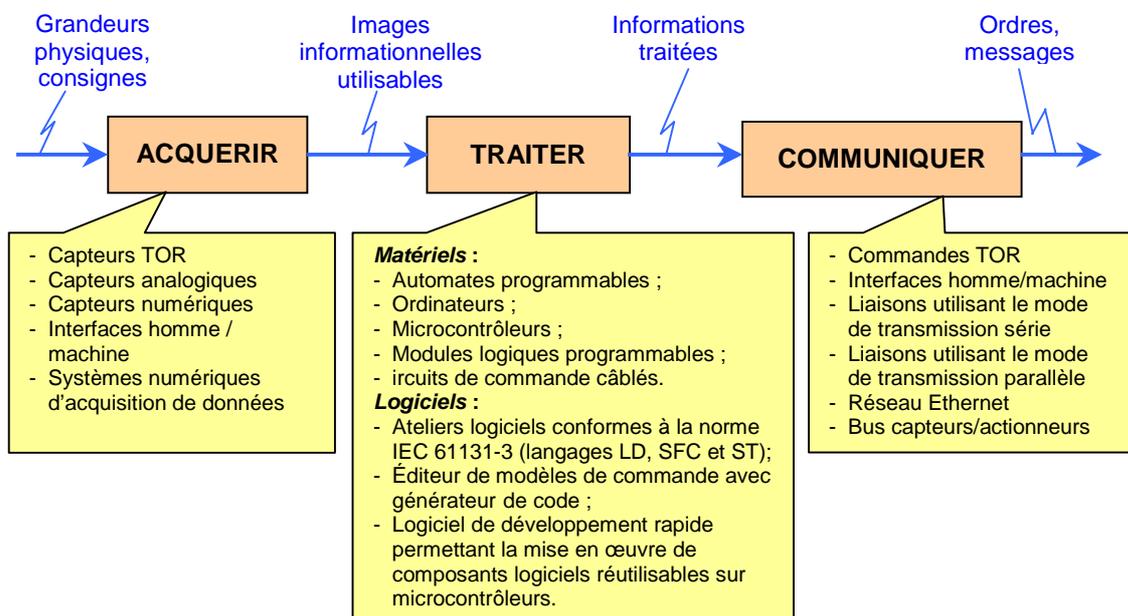


Figure 7 : Fonctions génériques de la chaîne d'information et solutions constructives.

### Les solutions constructives

Chaque fonction générique de la chaîne d'information est assurée par un ou plusieurs constituants matériels et logiciels. Pour les approches externes et internes, le schéma de la figure 7 recense pour chaque fonction technique, les constituants qui feront l'objet d'une analyse ou d'une mise en œuvre dans le cadre des travaux pratiques.

### L'approche externe

L'approche externe de la chaîne d'information permet, par l'observation, l'analyse, la manipulation (mesures, câblages, assemblages, etc.), la mise en fonctionnement et éventuellement la simulation, de mettre l'accent sur les points suivants :

- les frontières entre les systèmes opérant, de décision et d'information ;
- la structure fonctionnelle d'une chaîne d'information et l'identification des solutions constructives associées aux fonctions techniques ;
- la typologie des informations traitées et l'identification des échanges entre les éléments réalisant les fonctions techniques, l'approche par les entrées/sorties permettant de rendre observable (notion de frontière de description) et de qualifier chaque fonction ;
- les échanges entre la chaîne d'information et la chaîne d'énergie ; la mise en œuvre d'un système de traitement de l'information, afin de le faire fonctionner, dans le respect d'une procédure et du cahier des charges.

### L'approche interne

L'approche interne s'attache à l'étude des fonctions techniques acquérir, traiter et communiquer l'information, assurées par les constituants matériels et les modules logiciels qui leur sont éventuellement associés. Cette approche interne doit prendre en compte l'intégration de la fonction technique concernée dans la chaîne d'information.

#### *Approche interne de la fonction : acquérir l'information.*

Effectuer une mesure, c'est déterminer quantitativement, par un moyen adéquat, la valeur d'une grandeur de nature quelconque (mesurande) et l'exprimer dans une unité appropriée. Le plus souvent, la grandeur à mesurer est traduite en une autre grandeur, de nature électrique,

pouvant ensuite être adaptée pour être transmise par un réseau à un système de traitement de l'information.

Une telle opération met en œuvre une série d'éléments, chacun assurant une fonction (figure 8). Selon la technologie du capteur et le type d'application, une ou plusieurs de ces fonctions peuvent être intégrées au capteur.

Quel que soit le niveau d'intégration, on se limitera essentiellement en SI à une caractérisation des entrées/sorties (par la mesure ou à l'aide d'une documentation technique) de chacun des éléments constitutifs de la partie acquisition). Les principes les plus courants de transformation d'un mesurande en une grandeur mesurable peuvent être illustrés lors des travaux pratiques. Les quelques types de capteurs retenus pour leur pertinence seront replacés dans leurs contextes d'utilisation respectifs pour atteindre l'ensemble des compétences visées par le programme.

En présence des constituants d'un système d'acquisition, intégré ou à intégrer à une chaîne d'information, d'un dossier ressource (documents techniques, bases de données constructeurs, cahier des charges de l'application, etc.), cette approche interne permet, par l'observation, l'analyse et la manipulation (mesures, câblages, réglages, intégration dans une chaîne d'information, etc.) de mettre en valeur :

- la structure fonctionnelle d'un système d'acquisition et les solutions constructives associées aux fonctions techniques ;
- les caractéristiques des signaux échangés entre les éléments ;
- les contraintes de compatibilité électriques (niveaux de tension) et de signal (fréquence) entre le système d'acquisition et le système de traitement de l'information associé ;
- le câblage, le réglage et l'interconnexion des constituants d'un système d'acquisition nécessaires à sa mise en œuvre ;
- les contraintes liées à l'intégration d'un système d'acquisition dans une chaîne d'information, (type de fonctionnement, adressage dans le cas d'une liaison à un réseau, etc.) ;
- la mise en évidence de l'effet de certaines grandeurs d'influence ;
- les critères de choix d'un capteur.

#### *Approche interne de la fonction : Traiter l'information*

L'analyse d'un système de traitement de l'information, l'identification de ses propriétés, la modification de sa structure et du programme nécessaire au fonctionnement

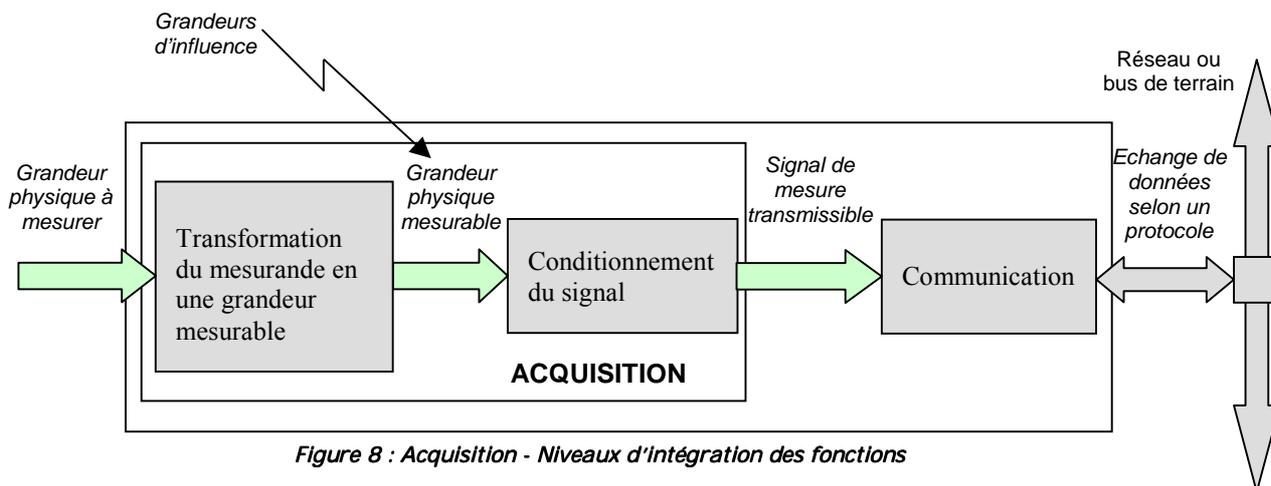


Figure 8 : Acquisition - Niveaux d'intégration des fonctions

de l'application, nécessitent l'utilisation de schémas mais aussi de modèles permettant la spécification de son comportement. Cette modélisation passe obligatoirement par une phase d'isolement nécessaire pour identifier les frontières de ce que l'on s'attache à décrire.

Par ailleurs, les modèles de spécification utilisés pour décrire un comportement dépendent de la nature (logique, analogique, numérique) des entrées / sorties identifiées pendant cette phase d'isolement. Les élèves doivent être sensibilisés à l'adéquation entre la nature des entrées / sorties et le modèle de spécification comportementale retenu. Cette typologie qui apparaît dans la partie C2 du programme est illustrée figure 9.

Les systèmes de traitement de l'information présents dans le laboratoire sont des systèmes représentatifs de l'environnement quotidien des élèves (ordinateurs, systèmes à base de microcontrôleur) et des systèmes représentatifs de la commande de procédés industriels (automates programmables). Les ordinateurs serviront essentiellement de supports aux ateliers logiciels d'édition des modèles de spécification, aux ateliers logiciels conformes à la norme IEC 61131-3 pour la programmation des automates programmables et aux logiciels associés aux microcontrôleurs. L'étude des constituants de base tels que microprocesseurs, bus, mémoires, cartes d'E/S et coupleurs, se limitera strictement aux aspects fonctionnels de traitement. Dans le cas des systèmes commandés par des microcontrôleurs, les langages assembleurs ne seront pas traités. De même, l'apprentissage d'un langage de haut niveau orienté objet n'est pas au programme. Il faut privilégier l'utilisation de langages graphiques permettant un passage direct et automatique de la spécification au programme compilé, ainsi que l'emploi de bibliothèques de composants logiciels fournis avec certains microcontrôleurs pour valoriser le concept important de réutilisation.

En présence des constituants d'un système de traitement de l'information intégré à une chaîne d'information, d'un dossier ressource (documents techniques, bases de données constructeurs, cahier des charges de l'application, etc.), cette approche interne permet, par l'observation, l'analyse et la manipulation (câblages, assemblages, paramétrages, implantation et modification de programmes, etc.) de mettre l'accent sur les points ci-dessous :

- la structure fonctionnelle d'un système de traitement de l'information et les solutions constructives

associées aux fonctions techniques ;

- l'assemblage, le câblage, le paramétrage des constituants d'un système de traitement de l'information ;
- la mise en œuvre d'un atelier logiciel permettant la programmation d'un système de traitement de l'information ;
- la structure logicielle d'une application (niveaux décisionnels, blocs fonctionnels, fonctions, données, etc.) ;
- la notion de réutilisation de composants logiciels ;
- les différents niveaux de langages ;
- le codage de l'information nécessaire à son traitement ;
- la notion de variable, sa lecture et son affectation ;
- les structures algorithmiques de choix, d'itération ;
- la conformité d'un comportement observé avec la spécification comportementale.

La mise en valeur de différents niveaux décisionnels peut se faire dans le cadre de cette approche interne des systèmes de traitement de l'information.

Les différentes décisions peuvent être classifiées en plusieurs niveaux selon la portée ou l'importance de l'action déclenchée (par exemple : commande d'une action, commande d'un enchaînement d'action, commande de l'inhibition de l'ensemble des actions, etc.). Le programme de SI privilégie les deux niveaux décisionnels : commande des actions et contrôle et coordination (figure 10).

Chaque niveau décisionnel fait appel à un ensemble d'informations mémorisées, élaborées par d'autres niveaux décisionnels ou issues de la chaîne d'énergie (système opérant). Cette mise à disposition peut nécessiter un transfert des informations localement ou (et) à longue distance.

*Approche interne de la fonction : communiquer l'information*

Un réseau est un ensemble de systèmes informatiques (ordinateurs, automates programmables, constituants informatisés, etc.) interconnectés qui communiquent pour pouvoir partager des données, des applications logicielles et des équipements. Parmi les caractéristiques générales des réseaux :

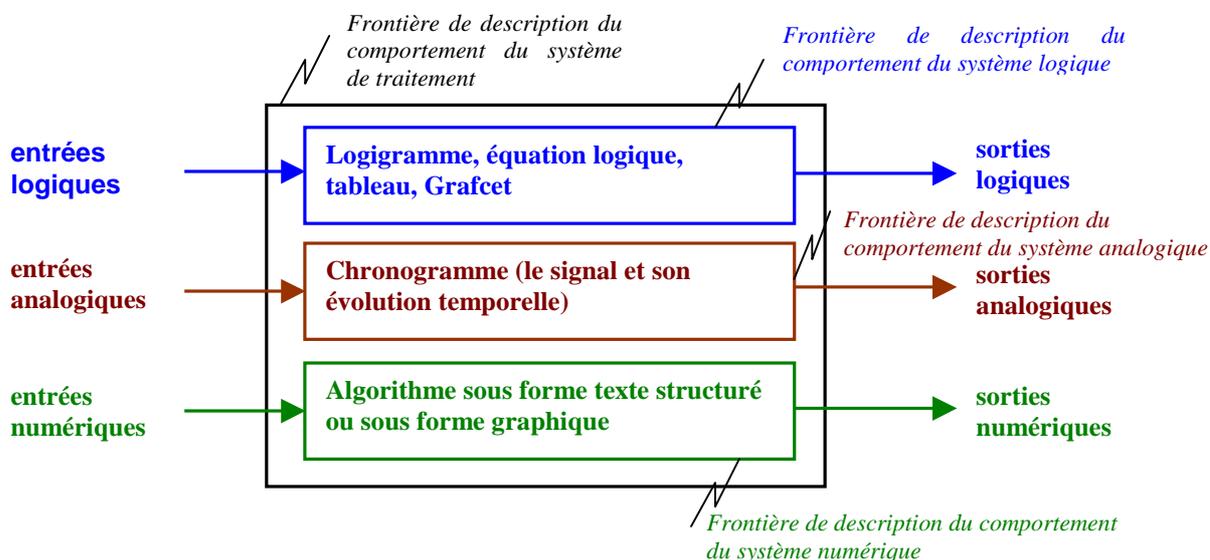


Figure 9 : Adéquation du modèle de comportement utilisé en SI avec la nature des entrées-sorties

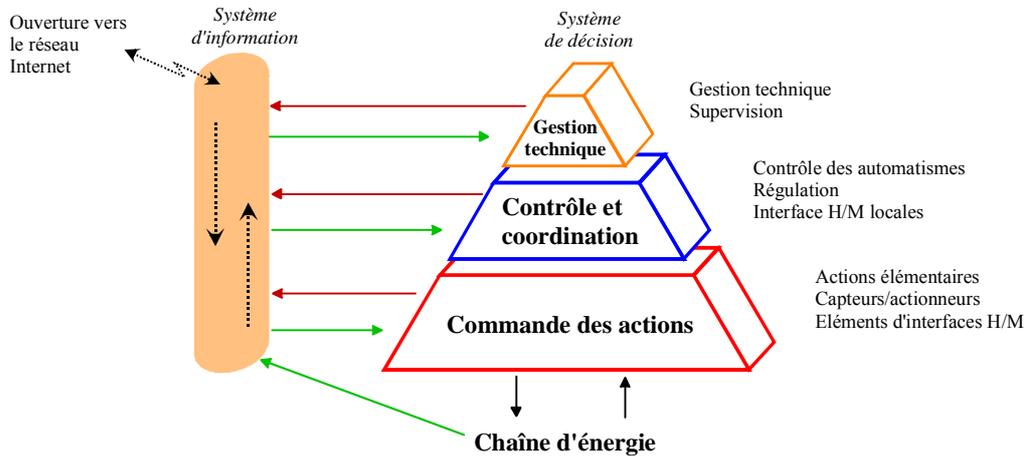


Figure 10 : Processus décisionnel et informationnel au sein de la chaîne d'information.

- type d'information transmise (voix, données, images) ;
- type de média de communication (fil, sans fil) ;
- type de réseau (longue distance, local) ;
- type de commutation (à commutation de circuits en téléphonie, par paquets pour les données).

Le programme de SI se limite à l'échange de données.

L'étude des réseaux est conduite essentiellement sous forme de travaux pratiques selon un point de vue utilisateur, car une approche théorique des réseaux s'avère rapidement très conceptuelle et difficile. Le concept de couches développé dans le modèle de référence OSI (Open Systems Interconnection) n'est pas au programme. L'approche inductive (travaux pratiques suivis de synthèses) doit donc être privilégiée, ce qui n'interdit pas un cours d'introduction (vocabulaire, notions de base).

Compte tenu de la diversité des réseaux et des évolutions en cours, il est important de choisir des supports issus du monde industriel et de l'environnement quotidien des élèves, en évitant les réseaux propriétaires et en ayant la préoccupation d'illustrer l'adéquation entre les propriétés de ces réseaux et l'utilisation qui en est faite (contraintes temps réel dans les systèmes industriels, contraintes de débit dans un réseau d'ordinateurs, etc.). Les architectures les plus simples ne sont pas à négliger, la connexion directe par câble entre deux ordinateurs permet d'aborder simplement le partage de ressources et l'échange de fichiers. Les figures 11 et 12 montrent quelques exemples

d'architectures pouvant être exploitées dans le laboratoire de SI.

Lorsqu'un système travaille en réseau, ses applications doivent dialoguer avec les applications d'autres systèmes reliés au réseau par l'intermédiaire d'une suite de protocoles. Cette suite de protocoles est un ensemble de règles reconnues par tous les systèmes interconnectés pour effectuer les différentes opérations nécessaires à la communication. Il existe de nombreux protocoles, mais on peut constater que la suite de protocoles TCP/IP se généralise dans les applications classiques liées à l'informatique pour la communication ainsi que dans les applications industrielles pour la commande et le pilotage des procédés. Devenu un standard, le rôle de TCP/IP est d'assurer la compatibilité entre tous les logiciels supportant ces protocoles, quels que soient les fournisseurs, les logiciels ou les matériels (interopérabilité). Parmi les caractéristiques essentielles de TCP/IP, seul l'adressage logique (IP) sera traité au cours de travaux pratiques. Le routage, la résolution d'adresses, le contrôle des erreurs seront évoqués uniquement pour apporter une information sur leurs rôles respectifs.

En présence des constituants d'une chaîne de communication, intégrée ou à intégrer à une chaîne d'information, d'un dossier ressource (documents techniques, bases de données constructeurs, cahier des charges de l'application, etc.), l'approche interne de la fonction communiquer permet de mettre l'accent sur les

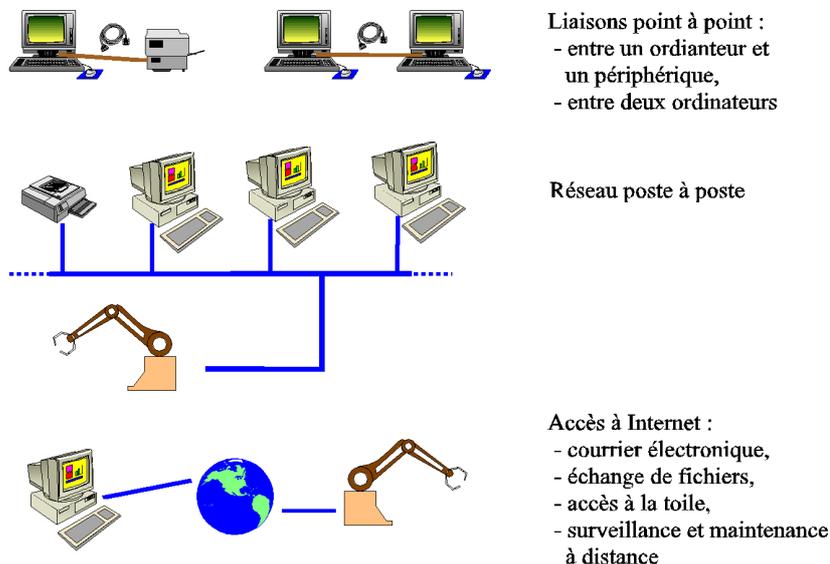


Figure 11 : Exemples d'architectures issues de l'environnement quotidien des élèves

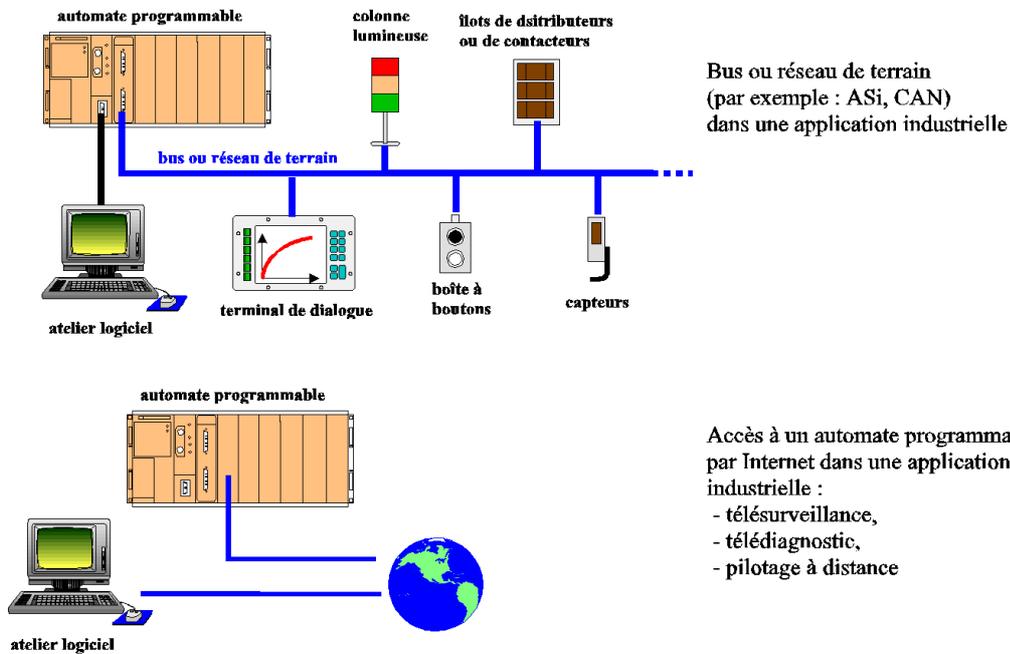


Figure 12 : Exemples d'architectures issues du monde industriel.

points suivants :

- la structure fonctionnelle d'une chaîne de communication et les solutions constructives associées,
- les contraintes de compatibilité matérielles et électriques (niveaux de tension) entre les constituants, les problèmes d'interfaçage étant mis en évidence au travers d'activités de mesurage, de câblage et d'assemblage,
- le câblage et l'interconnexion des constituants d'une chaîne de communication, les paramétrages nécessaires à sa mise en œuvre,
- les tests de bon fonctionnement d'une liaison.

Le développement de cette partie dans le livret est justifié par sa nouveauté. Le temps consacré à celle-ci doit rester compatible avec l'ensemble des activités à mener en SI.

### Recommandations pour la mise en œuvre de travaux pratiques relatifs à la chaîne d'information

Les activités menées en travaux pratiques pourront prendre diverses formes :

- décrire d'un point de vue utilisateur la structure fonctionnelle d'une chaîne d'information ;
- repérer et caractériser les grandeurs d'entrée et sortie de chaque élément fonctionnel pour le qualifier et pour justifier du choix du sous-système ou du constituant correspondant ;
- identifier les échanges entre la chaîne d'information et la chaîne d'énergie, câbler les interfaces en respectant les contraintes de sécurité et de fonctionnement ;
- comparer, en les testant selon des critères fournis, plusieurs solutions matérielles et (ou) logicielles afin de justifier un choix ;
- tester, régler ou configurer un constituant de la chaîne, l'implanter ou l'intégrer, puis mettre en œuvre le système dans des conditions spécifiées par le cahier des charges pour en vérifier le bon fonctionnement ;
- câbler et interconnecter les constituants d'une chaîne d'information, procéder aux réglages nécessaires à sa mise en œuvre ;

- observer le comportement réel d'un système, le comparer au comportement spécifié pour valider une solution matérielle et logicielle ou pour relever des écarts modèle-réel ;
- modifier tout ou partie d'une solution logicielle à l'aide d'ateliers logiciels d'assistance, pour répondre à une évolution du cahier des charges ou réduire un écart constaté entre un comportement attendu (et modélisé) et un comportement réel observé.

## Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est un élément important de la démarche qui permet aux entreprises industrielles de traduire les attentes de leurs clients en solutions techniques compétitives.

Lorsqu'elle est normalisée, l'analyse fonctionnelle s'intègre dans des recherches plus générales de certification de la qualité (analyse de la valeur, normes ISO 9000 par exemple) qui garantit le respect de procédures visant à la qualité totale des produits et des processus.

Dans le programme de SI, l'analyse fonctionnelle n'est pas envisagée sous ces aspects normatifs et certificatifs. Il s'agit simplement de faire découvrir aux élèves que la satisfaction du client impose des phases de formalisation indispensables (expression du besoin, analyse d'un cahier des charges) et que l'analyse technique d'un produit peut toujours s'appuyer sur une expression cohérente de fonctions (relations entre fonctions et solutions traduites par un FAST).

Pour ces raisons, la trame structurante du programme est fondée sur la décomposition d'un système en ses fonctions techniques, comme méthodologie d'approche rigoureuse des produits indépendamment des solutions techniques retenues. Ce centre d'intérêt fournit ainsi le cadre cognitif structurant pour appréhender les solutions constructives aptes à réaliser les fonctions techniques, et expliciter leur comportement.

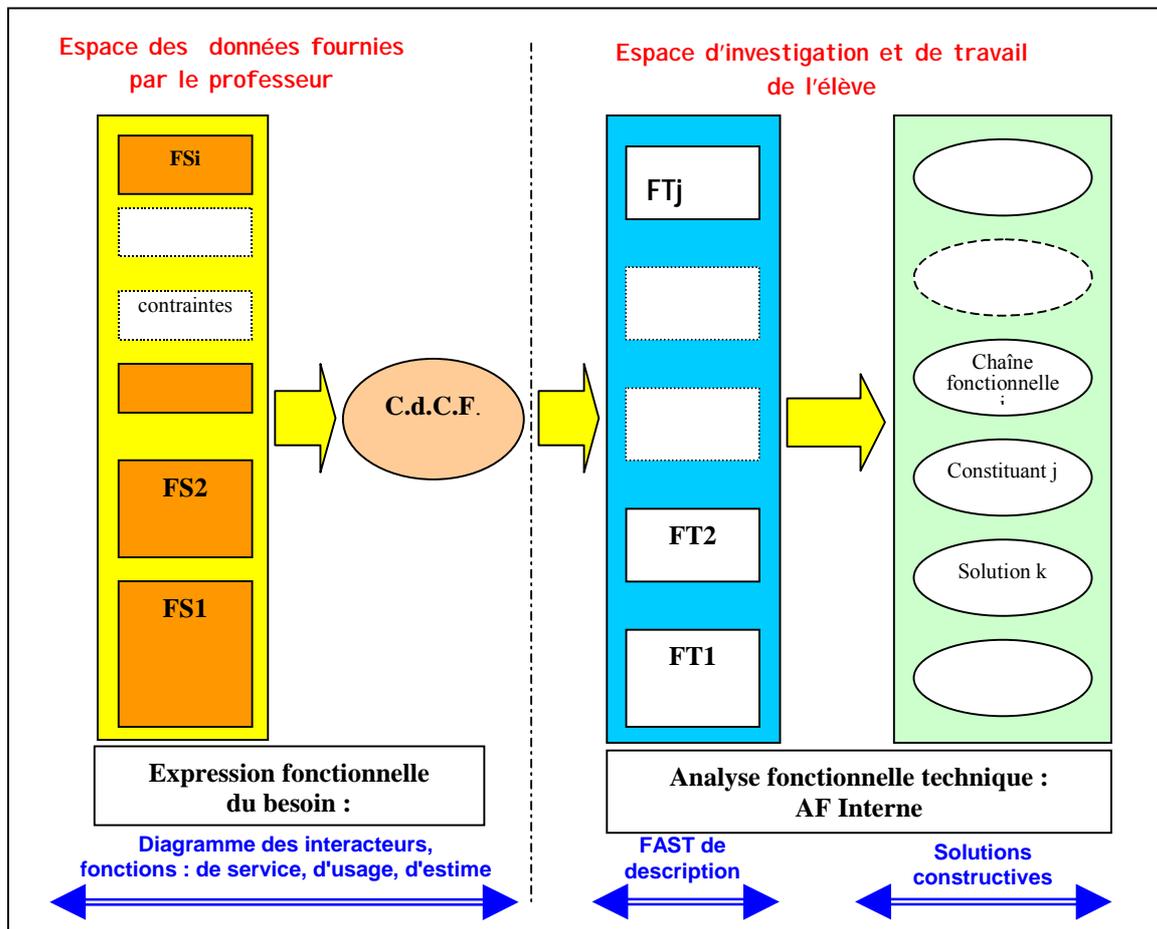


Figure 13 : Limite d'action des élèves.

A partir de ces connaissances de base vécues et pratiquées régulièrement, l'élève pourra aborder dans des formations ultérieures les outils normés de l'analyse de la valeur et de la gestion de la qualité.

### Les approches externe et interne de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle externe exprime le point de vue du client, de l'utilisateur, pour qui le produit est une réponse à un besoin dans un environnement donné, s'exprimant essentiellement par des fonctions de service. Pour un élève de SI, cette approche est limitée au décodage et à l'analyse des deux niveaux de formalisation suivants :

- l'expression du besoin, qui dresse un premier bilan des attentes du client, de ses envies, et de certaines contraintes identifiables ;
- le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) qui, à partir de l'expression du besoin et après un travail exigeant de recherche et de formalisation, spécifie des performances techniques et financières à atteindre, avec les contraintes réglementaires et environnementales à respecter, fournit des critères de choix entre les solutions possibles.

Il s'agit donc ici de mettre à disposition des élèves tout ou partie de cahiers des charges instruits par le professeur dans le respect des normes en vigueur (les caractéristiques de l'Analyse fonctionnelle et le contenu du CdCF sont exposés dans les normes NF X50-100 et NF X50-151, le vocabulaire est défini dans la norme NF EN1325-1) pour leur demander de se livrer à des activités d'analyse, de compréhension et de justification du produit étudié. La

création ou la modification d'un cahier des charges n'est pas exigible des élèves.

Le CdCF du produit étudié sera au moins renseigné sur les items suivants :

- besoin (services attendus, niveau d'intégration / environnement,
- contraintes (limites de l'étude, limites dans le choix des solutions),
- caractérisation des fonctions de service (critères, niveaux, tolérances).

Le décodage et la CdCF partiel, établi par le professeur, devra être une activité proposée dans de nombreux TP, tout particulièrement ceux qui concernent les chaînes d'énergie et d'information.

Lors du Projet Pluritechnique Encadré (PPE) abordé au 2<sup>ème</sup> semestre de la classe de terminale, le CdCF pourra être incomplet. Le professeur guidera alors les élèves pour l'élaboration des éléments manquants nécessaires à la concrétisation du projet pour garantir son aboutissement.

L'analyse fonctionnelle interne privilégie le point de vue du concepteur, chargé de construire un produit réel à partir d'un cahier des charges donné.

A ce niveau de formation, l'outil d'analyse FAST (Functional Analysis System Technique) est à privilégier. Cet outil, qui propose une décomposition conduisant de l'expression fonctionnelle du besoin à la définition des solutions constructives, peut être utilisé pour des finalités différentes :

- en phase d'analyse de l'existant, comme un outil de description et de mise en correspondance des solutions constructives avec les fonctions techniques qu'elles réalisent dans une logique de réponse à la

question « quelle fonction satisfait cette solution ? », c'est le « pourquoi faire » ;

- en phase de conception, comme un outil d'aide à la recherche puis la validation de solutions, dans une logique de réponse à la question « quelle solution constructive peut satisfaire cette fonction ? », c'est le « comment faire ».

Son formalisme simple aide les élèves à :

- décoder la structure d'un système,
- formaliser les relations entre fonctions et solutions,
- identifier des solutions constructives,
- approcher des concepts importants (intégration de fonctions, reconception, compétitivité technique...).

Selon le type d'activité : acquisition de connaissance par l'étude de solutions existantes ou projet technique, l'outil FAST pourra être utilisé, au moins partiellement. Il constitue en effet un relais logique très transversal applicable dans tous les champs technologiques et structurant pour l'élève.

Dans un premier temps, les activités pédagogiques sur l'analyse fonctionnelle interne pourront s'appuyer sur le FAST du produit complètement renseigné dans lequel l'élève valide la décomposition des fonctions de service en fonctions techniques et la relation fonction technique - solution.

Dans ce cas, il sera intéressant de faire rechercher à l'élève quels sont les éléments structurels, qui sont des choix de conception, directement impliqués dans la réalisation d'une fonction au sein d'une chaîne de fonctionnement interne.

Ce type d'exercice, qui lui permet également de vérifier la conformité des solutions au CdCF, doit mener l'élève à appréhender la réflexion qui détermine la conception d'un produit.

Une deuxième étape peut consister, lors de travaux pratiques relatifs à d'autres centres d'intérêt (tels que la chaîne d'énergie ou la chaîne d'information), à instruire tout ou partie du FAST concernant la ou les fonctions étudiées.

En classe de terminale, dans le cadre du PPE, on s'attachera à demander aux élèves :

- de toujours analyser et interpréter, et de compléter dans des cas simples, le CdCF du projet pour pouvoir répondre au problème posé ;
- d'utiliser tout ou partie du FAST pour justifier les solutions constructives étudiées.

L'objectif est qu'à terme, l'élève soit capable de comprendre que l'analyse fonctionnelle dans son ensemble (externe et interne) aide à la définition de la solution la mieux adaptée au besoin.

La figure 13 décrit les acteurs présents dans les activités d'analyse fonctionnelle en SI et présente les limites d'action des élèves.

---

## Représentation du réel

Cet axe principal, également centre d'intérêt, intègre deux familles d'activités amenant les élèves à découvrir et maîtriser les bases de la schématisation et de la représentation des systèmes techniques. Les apprentissages présentent les caractéristiques spécifiques suivantes :

- ils peuvent s'exercer sur tous les supports techniques (produits, systèmes, composants mécaniques) étudiés et présents dans le laboratoire, ce qui permet de

proposer ce centre d'intérêt de façon fréquente, récurrente et progressive ;

- ils s'appuient systématiquement sur une approche fonctionnelle et constructive des supports utilisés, montrant ainsi aux élèves que les outils de représentation ne sont pas une fin en soi et qu'ils sont indispensables à la conception, à l'analyse et à la communication entre techniciens ;
- ils exigent une approche didactique progressive associée au développement de la culture des solutions constructives induite chez les élèves amenant ces derniers à développer leurs capacités mentales de représentation spatiale et plane.
- ils utilisent plusieurs logiques de représentation :
  - les représentations symboliques (schémas divers) respectant des règles strictes et permettant de produire un message univoque ;
  - les représentations analogiques (plans 2D normés) représentatifs de points de vue particuliers, « justes mais partiels » ;
  - les représentations numériques (maquettes virtuelles volumiques) qui modélisent une représentation nominale d'une pièce ou d'un mécanisme et proposent une interprétation quasi univoque du représenté.

### Les représentations symboliques : les schémas

La schématisation, sous diverses formes, est un support de la communication technique. Elle est utilisée à diverses étapes du cycle de vie d'un produit ou d'un système :

- en phase de conception préliminaire sous forme de schéma de principe, souvent apparenté à un croquis non normalisé ;
- en phase de dimensionnement ou de simulation du fonctionnement, sous forme d'un schéma normalisé associé à une modélisation ;
- en phase de développement, en ingénierie concurrente ou collaborative, sous forme de schéma d'architecture, technologique, de graphe de fonctions, ... ;
- en phase de réalisation pour la production, le montage, l'installation, le câblage, la configuration du produit ou système sous forme de schémas normalisés électriques, pneumatiques, ..., éventuellement en association avec la représentation du réel ;
- en phase d'exploitation pour la configuration, la conduite, la maintenance du produit ou système, sous formes diverses (normalisées ou non) selon les besoins de l'intervenant.

En fonction du type de situation-problème devant lequel sera placé l'élève au cours de sa formation, il pourra se trouver dans l'une ou l'autre de ces différentes phases. En conséquence, comme le précise le programme, il doit acquérir des compétences de décodage de divers schémas, mais également d'écriture de tout ou partie des représentations schématiques courantes pour exprimer ses idées :

- schéma de principe ;
- schéma cinématique minimal plan et spatial (pour la définition, par une représentation normalisée, des liaisons minimales illustrant les mobilités) ;

- schéma architectural (pour la description normalisée de l'ensemble des liaisons) ;
- schéma technologique (pour une description sans code normalisé de l'agencement des principaux composants d'un produit ou d'un système) ;
- schéma des composants et des circuits électriques / pneumatiques de puissance ;
- schéma de raccordement des entrées et des sorties d'un API ou d'une carte à base de microcontrôleur.

Afin d'éviter toute forme d'encyclopédisme, les normes relatives à la schématisation considérée dans une activité donnée seront fournies.

Les activités de Travaux Pratiques conduisant à la résolution de problèmes techniques seront privilégiées pour une approche progressive des compétences touchant à la schématisation.

Dans ce cadre, le professeur mettra en évidence la pertinence du choix d'un type de schéma utile à la résolution d'un problème donné et l'intérêt d'un codage accessible à tous. Les règles graphiques permettant une bonne lisibilité des schémas seront évoquées.

Pour faciliter l'élaboration de certains schémas, il sera recommandé d'utiliser des outils informatiques d'assistance dans la mesure où leur ergonomie est suffisamment performante pour ne pas alourdir le temps d'apprentissage.

### Les représentations du réel

Les modeleurs volumiques se généralisent dans l'industrie pour représenter les pièces et les ensembles mécaniques. Ils constituent de plus une base de travail pour les calculs, la simulation et la fabrication. Leur simplicité croissante et leur accessibilité justifient leur utilisation systématique dans l'enseignement de SI.

Il convient d'être attentif au fait que les facilités graphiques et des qualités esthétiques inhérentes aux logiciels existants et à venir ne doivent pas conduire à des activités de représentation dont le poids ne serait pas proportionné aux attentes du programme en termes de savoir et de compétences attendues.

Si l'activité industrielle de décodage des dessins techniques reste importante (en production, en montage, en maintenance, ...) et doit donc faire l'objet d'un apprentissage, celle de codage évolue vers l'élaboration de croquis ou de petits dessins à main levée, soit pour exprimer une idée, soit pour formaliser un principe de solution en préalable à la saisie informatique.

Ainsi, dans l'enseignement de SI, le codage normalisé, hors aide informatique, n'est pas à promouvoir. Dans la phase finale de représentation d'un produit, ce codage peut être considéré comme le résultat automatique de fonctionnalités du logiciel, avec exploitation des procédures d'habillage.

Les logiques d'activités relèvent d'une des deux démarches proposées dans la figure 14.

L'enseignement de SI doit initier à la représentation graphique du réel.

- Par la maîtrise des fonctionnalités de base d'un logiciel de CAO-3D pour la construction de la maquette numérique d'une pièce ou d'un petit ensemble en phase de conception / reconception.

Cette maîtrise attendue induit des apprentissages et une verbalisation relatifs aux formes des pièces et aux positions relatives des surfaces et des volumes qui la composent. Les méthodes de construction utilisables à ce niveau sont les suivantes (il ne s'agit pas ici de maîtriser ces différents modes de construction mais de voir leur intérêt et leur pertinence dans une situation de construction) :

- construction par assemblage, qui s'effectue dans la continuité des acquis de la classe de seconde et qui n'est à privilégier que dans des opérations de reconstruction ;
- construction dans l'assemblage, qui est le mode à développer à ce niveau de formation car il associe systématiquement à toute représentation une signification fonctionnelle ;
- construction en mode plan, qui peut être avantagusement utilisée dans certaines situations et qui induit la compréhension du concept de section.
- Par la connaissance et la compréhension des paramètres dimensionnels et topologiques définissant les éléments géométriques (cylindre, prisme, ...) et leur assemblage par des contraintes géométriques explicites.
- Par une pratique informatique des assemblages sous contraintes, ce qui suppose une maîtrise suffisante de quelques notions fondamentales de positionnement relatif : parallélisme, coïncidence, coaxialité...
- Par une bonne perception du principe de « paramétrage variationnel<sup>1</sup> » de ces logiciels qui ouvre un champ important d'activités, en particulier dans :
  - l'étude de l'influence de paramètres sur le fonctionnement d'un système ;
  - la définition d'une famille de produits paramétrée en dimensions ;
  - la définition d'une famille de produits paramétrée en formes et fonctions.
- Par une maîtrise limitée mais suffisante et adaptée aux besoins du projet pour l'édition des documents industriels à partir d'une maquette numérique et l'intégration d'éléments standard issus de bases de données techniques interfacées au logiciel volumique.

<sup>1</sup> Ce concept est présent dans les dernières générations de modeleurs volumiques.

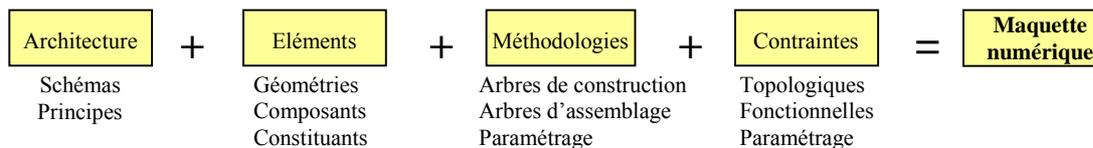
Ce type de logiciel permet :

- De créer des pièces par association de volumes élémentaires créés par des fonctions telles que l'extrusion ou la rotation d'une surface (esquisse) par rapport à une direction.
- d'y associer ces pièces selon des contraintes géométriques pour construire le modèle virtuel d'un système mécanique

Les modeleurs actuels se doivent d'être, entre autre :

- **Variationnels** : ce qui implique que, lorsque cela est prévu, toute modification d'une dimension sur le modèle engendre des modifications sur l'ensemble de la pièce et de la structure.
- **Paramétrés** : ce qui correspond à la possibilité de déclarer des paramètres gérant des dimensions et des fonctions facilitant la gestion de familles de pièces.
- **Configurables** : ce qui permet de gérer, dans un seul fichier informatique, différentes situations de la même maquette, pour enregistrer des options de conception, des positions successives, des essais de formes

### 1 - Logique de création/modification : elle vise à l'élaboration d'une maquette numérique



### 2 - Logique d'exploitation : elle vise à exploiter et décliner une maquette numérique.

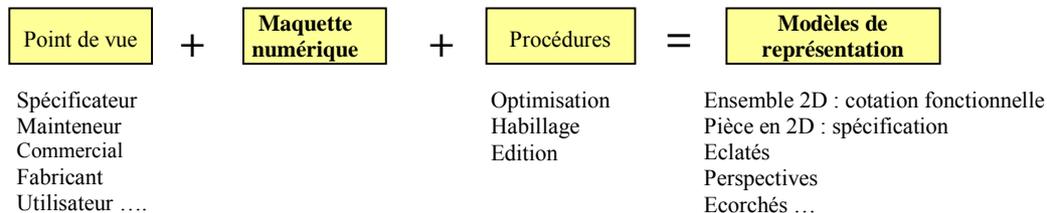


Figure 14 : Logiques d'activités

Le centre d'intérêt "Représentation graphique du réel" trouve sa place dans la quasi-totalité des cycles de travaux pratiques et dans les activités de projet pluritechnique. Les différents cycles se caractérisent donc, sans que les élèves

s'intéressent nécessairement aux mêmes systèmes, par une introduction progressive mais rapide des fonctionnalités des logiciels à l'occasion d'études techniques.

## Le Projet Pluritechnique Encadré

Tout projet se définit comme une démarche spécifique, qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir. Il est mis en œuvre pour apporter une réponse adaptée au besoin précis d'un utilisateur. Cette activité, caractéristique des démarches et méthodes pratiquées dans le monde industriel, fait aujourd'hui partie intégrante des responsabilités incombant aux ingénieurs. Il est donc important que les élèves découvrent, par l'action, son principe et son utilité au cours de leur formation.

Conduire un projet, c'est entreprendre, coordonner et suivre des actions nombreuses et variées, avec des ressources données. La ressource, en premier lieu humaine, est généralement mobilisée en formant une équipe dont chaque membre concourt à l'aboutissement du projet.

Le Projet Pluritechnique Encadré (PPE) vise à placer l'élève dans ce contexte particulier de démarche de projet.

Le projet, pour être efficace et motivant, devra porter sur des thèmes fortement incitatifs, d'un niveau de difficulté à la mesure des programmes d'enseignement, et être suffisamment étoffé pour susciter un travail équilibré de la part de chacun des membres de l'équipe.

La production attendue des élèves doit être conforme aux dispositions du règlement de l'épreuve de baccalauréat.

Objectifs du projet en SI.

L'objectif fondamental est que les efforts consentis et le travail fourni mènent à la réussite du projet.

Abordé au début du 2<sup>ème</sup> semestre de la classe de terminale, le PPE est une activité qui, au travers d'un travail d'équipe, vise à développer chez l'élève l'esprit de synthèse, le sens créatif, la volonté d'entreprendre, de s'impliquer, tout en mobilisant son savoir pour réussir.

En réponse à un cahier des charges fonctionnel ou à des spécifications, dans des conditions de travail clairement définies pour un groupe donné, le problème posé doit

conduire les élèves à conjuguer les savoirs et savoir-faire déjà acquis pour, selon le cas, modifier, concevoir, comparer, configurer, mettre en œuvre, vérifier la conformité de tout ou partie d'un produit ou système et ainsi donner tout leur sens aux sciences de l'ingénieur. Dans ce cadre, il est évident que le rôle du professeur qui accompagne les élèves et suit le projet, est déterminant. Il lui revient la responsabilité de définir le problème, d'animer les revues de projet, de conseiller et de suivre les élèves en respectant un équilibre entre une certaine liberté de recherche et d'action laissée à l'équipe et une aide technique et organisationnelle proche leur permettant de réussir. Les sujets proposés pourront également offrir l'occasion d'une ouverture vers les autres disciplines.

Au travers de cette étude, planifiée selon un calendrier fourni par le professeur, l'élève doit percevoir l'efficacité d'une information précise et concise, l'utilité de synthèses rapides (meilleur choix, meilleur délai), et les éléments de la performance d'une équipe : créativité, partage des décisions, respect des échéances, responsabilité individuelle accrue, ouverture d'esprit (écoute de l'autre, échanges argumentés,...).

Cette situation d'apprentissage doit conduire l'élève à utiliser pleinement tous les moyens de communication (TIC, tableau, téléphone, fax, réseaux Intranet et Internet...) nécessaires à la recherche d'informations, à la conduite de son travail, à la rédaction, aux restitutions orales... Sur ce point particulier de la communication orale, les phases de revue de projet doivent permettre à l'élève, en situation d'acteur, d'améliorer progressivement la qualité de ses prestations (organisation du contenu, expression orale, outils mobilisés...).

Enfin, le problème posé doit amener les élèves à se poser d'autres types de questions qui n'ont pas ou peu été abordées dans le programme : « Comment est-ce

fabriqué ? », « Avec quels équipements, quel système de production ? », « Comment peut-on réaliser un prototype, une maquette, les tester ? », « Que peut-on simuler, comment ? », « Comment représenter une solution ? » « Comment vérifier telle performance ? », etc. , autant d'interrogations qui donnent matière à des recherches vers les bases documentaires mises à disposition et ouvrir sur d'autres gisements de la technologie.

### Mise en œuvre du projet pluritechnique

L'activité de projet pluritechnique se déroule durant les séances spécifiques dans le laboratoire dédié aux sciences de l'ingénieur permettant la mobilisation des membres de l'équipe pédagogique de la classe de terminale impliqués dans l'encadrement des activités.

La composition des groupes est de la responsabilité pédagogique des enseignants. Il peut être accordé, sous l'arbitrage du professeur, une certaine autonomie aux élèves pour le choix de leurs partenaires de travail et la gestion du groupe, comme pour le choix du sujet parmi les propositions des professeurs.

Ces groupes seront constitués de 3 à 5 élèves selon le volume de travail à traiter.

Pour l'essentiel, le PPE est conduit par le ou les professeurs de SI, mais, dans cette activité de synthèse, les élèves trouveront sûrement dans les problèmes qui leur sont posés des solutions passant par l'utilisation d'autres compétences que celles de SI et qui induiront la participation de professeurs d'autres matières telles que les Sciences Physiques, les Mathématiques, les Arts Appliqués, les Langues étrangères,...

La durée du PPE ne doit pas excéder une trentaine d'heures, à répartir en milieu d'année de terminale.

Après une phase indispensable d'appropriation du cahier des charges fonctionnel, de recherche générale des principes pouvant régir les solutions, étape pendant laquelle le professeur doit animer, mobiliser, interroger, un calendrier général d'évolution est défini avec chaque groupe de projet. Les tâches individuelles seront précisément définies, ainsi que les dates de revues de projet, où chaque élève, en s'appuyant sur une argumentation structurée et précise qu'il aura établie au préalable, présente oralement au groupe l'évolution de son travail.

Le groupe en synergie, mais sous contrôle du professeur, arrête alors les décisions de poursuite, de modification, de réorientations utiles, que chacun prend en compte au niveau de la tâche individuelle qui lui est confiée.

Comme en TPE, l'élève tient un carnet de bord où il consigne ses réflexions et recherches personnelles, les descriptions de manipulations effectuées, ses productions, et ses notes de restitution au groupe en revue de projet.

---

### Problématiques possibles

Il s'agit d'un projet pluritechnique, issu du domaine industriel ou du grand public au sens large, qui relève de technologies conjuguées du génie mécanique, électrique, informatique réseau et télécommunication, civil...

Le support doit donc ouvrir un spectre d'investigation relativement large par rapport au programme d'enseignement et, dans le même temps, constituer une ressource pratique pour des actions concrètes conduites par des élèves de ce niveau. Le caractère attrayant d'un

support peut également fortement contribuer à la motivation des élèves en projet.

Ces supports peuvent être retenus parmi ceux utilisés pour la formation en cours d'année, mais peuvent être également spécifiques au projet et inconnus des élèves (domaines de la domotique, de la robotique, des sports, du bricolage,...).

Sans être exhaustive, la liste des thèmes proposés ci-après permet d'orienter un premier choix de l'enseignant :

- dans une logique d'analyse concurrentielle, réaliser une présentation comparative de deux produits répondant au même besoin ;
- proposer, décrire et justifier les modifications nécessaires des paramètres et/ou du comportement d'un système pluritechnique existant pour répondre à l'évolution du besoin (configuration, commande, programmation, contrôle,...) ;
- expliquer le fonctionnement d'un équipement présent dans le laboratoire en le testant et présenter les similitudes entre cet équipement et une installation industrielle observée dans le tissu économique voisin ;
- sur un système réel (produit grand public, système de production), proposer (en intervenant sur le produit ou par la représentation virtuelle) une adaptation du système en réponse à une évolution modeste du besoin ;
- dans le cadre de challenges locaux ou nationaux, choisir et agencer des constituants en réponse à un cahier des charges fonctionnel imposé (en privilégiant l'utilisation d'éléments modulaires) ;
- rechercher, proposer et discuter des alternatives de solutions pour réaliser une fonction technique simple donnée, définie par son cahier des charges ;
- modifier la programmation d'un système pour répondre à une évolution attendue.

---

### Moyens matériels

Sans exclure les moyens du CDI ou des ressources d'autres laboratoires présents dans l'établissement, cette activité se déroule majoritairement dans le laboratoire de SI avec un accès ouvert aux systèmes présents et à des moyens matériels permettant d'expérimenter, de modifier des sous-systèmes ou de réaliser des maquettes grandeur nature ou à une échelle significative, constituées par assemblage de pièces ou composants standard.

Ces réalisations peuvent conduire à des achats spécifiques et un budget doit être réservé à cet effet. De même, une zone de montage dédiée, assemblage avec outillage à main et électroportatif, est aménagée pour les réalisations.

L'accès aux technologies de l'information et de la communication ( ordinateurs avec accès Internet, scanner, photo numérique, etc.), ainsi que la mise à disposition d'un téléphone et d'un télécopieur, sont indispensables à ce type d'activité. En particulier, la mise en réseau local des postes informatiques constitue un élément favorable à la mise en œuvre du travail d'équipe des élèves.