



# Les nouveaux programmes du lycée



## Sciences de l'ingénieur Classe de première et de terminale S

### Document d'accompagnement

Ce document d'accompagnement est principalement destiné aux professeurs qui sont chargés d'enseigner ce programme. Il a donc pour objet : d'une part de préciser les objectifs et les orientations du programme, d'autre part de formuler des recommandations sur l'organisation de l'enseignement et sa mise en œuvre.

## Orientations générales

### Introduction

Les sciences de l'ingénieur (SI) contribuent à répondre aux besoins en compétences scientifiques et techniques pour concevoir, produire et maintenir les produits de notre société.

Ces derniers intègrent de multiples fonctions faisant appel à différentes technologies. Pour répondre aux exigences des utilisateurs en termes de qualité, coût, délai, l'activité industrielle de conception et de production, s'est organisée en ingénierie simultanée et concourante, qui requiert de chacun des acteurs d'appréhender l'ensemble des fonctions qui coopèrent au sein du produit. Dans ce cadre, la capacité à concevoir un produit nécessite la compréhension des principes qui régissent son fonctionnement, une culture pluritechnique des solutions constructives, et une capacité à comprendre et expliciter leur comportement réel.

Les sciences de l'ingénieur en classe de première et de terminale S poursuivent trois ambitions :

- construire des savoirs dans des grands domaines de technologie actuels ;
- apprendre à conjuguer ces savoirs et savoir-faire dans des démarches structurées d'analyse et de conception ;
- intégrer la dimension sociale et humaine de la technologie lors de travaux organisés en groupes de projet.

La stratégie pédagogique à mettre en œuvre, pour construire petit à petit chez l'élève la démarche de conception, procède d'une approche progressive de la complexité des produits et systèmes supports d'études, par l'alternance d'activités d'analyse de solutions existantes et d'activités de synthèse pour comprendre, faire évoluer, modifier ou créer et représenter tout ou partie d'un produit. L'organisation de la formation s'appuie sur des approches pluridisciplinaires de problèmes techniques bien délimités, et sur le travail en équipe des élèves. La réalisation d'un projet pluritechnique en fin de cycle de formation contribue à développer chez eux le goût du travail en équipe, les capacités d'écoute et d'argumentation, le sens

créatif et l'esprit d'innovation. La formation en SI les prépare ainsi à la poursuite d'études dans les formations d'ingénieur ou de technicien supérieur.

### Intentions du programme

La formation prend appui sur les grandes fonctions des produits actuels, qu'ils soient issus des milieux industriels ou de l'environnement quotidien des élèves.

Outre la connaissance de solutions constructives, l'étude des produits et des systèmes pluritechniques vise à développer une capacité essentielle pour un technicien supérieur et un ingénieur qui est la perception de la relation "modèle-réel", aller et retour permanent reliant étroitement le concret à sa représentation.

La formation doit ainsi progressivement permettre à l'élève d'associer la solution constructive (existante ou imaginée et représentée) à son comportement, à l'aide des modèles scientifiques du niveau d'un élève de première ou de terminale.

L'approche proposée dans le programme s'appuie sur le concept de chaîne de fonctions, décliné en chaîne d'énergie et en chaîne d'information qui constituent, avec l'analyse fonctionnelle et la représentation, *les axes principaux de la formation*. Cette structuration permet d'appréhender le maillage des différentes fonctions et l'homogénéité des solutions constructives retenues.

Ainsi, les grands champs technologiques actuels : la mécanique, l'automatique, l'électrotechnique, l'électronique, le traitement de l'information et les réseaux de communication, sont abordés dans une même logique de chaîne fonctionnelle, en dégageant les points fondamentaux de la formation, à savoir :

- les fonctions techniques et les solutions constructives satisfaisant un besoin spécifié dans un cahier des charges ;
- les modèles associés et leur utilisation pour l'étude scientifique des comportements ;
- les langages et les techniques de représentation des solutions réelles ;
- les outils et démarches de conception des produits.

# Organisation de l'enseignement

## Principes fondateurs

Le dispositif de formation proposé fait une large place aux travaux pratiques, tout en ménageant une plage de deux heures hebdomadaires de cours en classe entière. Selon le choix du professeur, ces heures de cours visent :

- à la découverte des concepts et à l'acquisition des connaissances qui en relèvent, dans le cadre d'une préparation aux travaux pratiques ;
- à des phases de synthèse des connaissances, menées dans le cadre d'un centre d'intérêt à l'issue des activités de travaux pratiques ;
- à des exercices d'application destinés à conforter une connaissance ciblée ;
- à des évaluations collectives dans la logique de l'épreuve écrite de l'examen.

Les travaux pratiques constituent le cœur du dispositif de formation.

Qualitativement, ils permettent de privilégier des activités concrètes de découverte, de compréhension, de constatation, de manipulation et d'alternance entre réel et modèles.

Quantitativement, le temps qui leur est consacré est important et permet de proposer un nombre significatif de plages d'activités pratiques : environ 80 plages de deux heures sur l'ensemble des deux années de formation, en décomptant des heures d'évaluation et de Projet Pluritechnique Encadré (PPE). Il est donc indispensable que les équipes pédagogiques s'investissent dans leur définition et leur organisation.

Pour aider à la préparation et à la mise en œuvre des TP, des cours et du projet, il est important de répondre aux questions suivantes.

- Quels sont, parmi les savoirs et les savoir-faire cognitifs identifiés dans le référentiel, ceux qui relèvent le plus de situations de travaux pratiques et ceux qui peuvent être abordés et transmis efficacement en cours ? Cette identification relève de la responsabilité de l'équipe enseignante qui intègre dans ses choix des contraintes éducatives, didactiques, techniques, matérielles, temporelles, ... ;
- Quels sont les supports de travaux pratiques les plus adaptés ou les plus pertinents pour atteindre avec efficacité les objectifs visés par l'activité pratique (type de support, instrumentation, ...) ?
- Comment articuler les activités (cours, TP, projets) durant l'année scolaire, avec quels centres d'intérêt ? Comment enchaîner les centres d'intérêt et choisir les répétitions et redondances utiles ?

L'annexe 2 de ce livret présente, pour chaque axe de formation et pour chacun des centres d'intérêt proposés, des thèmes d'étude qui méritent d'être abordés par le biais de travaux pratiques.

Cette approche permet aux équipes pédagogiques de bâtir des parcours d'apprentissages efficaces et motivants. Parallèlement aux activités d'analyse, l'approche progressive de la synthèse conduit à la réalisation d'un projet pluritechnique au cours du 2<sup>ème</sup> semestre de l'année de terminale.

Ce type d'activité s'inscrit dans la même logique que le mini-projet introduit dans le nouveau programme ISI en classe de seconde. Cette évolution importante par rapport à l'ancien programme concrétise la volonté de mettre en place une première esquisse de la démarche de conception. Il s'agit en particulier d'amener l'élève à :

- expliciter la relation besoin-fonction ;
- définir ou modifier une solution constructive répondant à un cahier des charges ;
- représenter une solution ;
- quantifier des paramètres influents du comportement ;
- réaliser et/ou mettre en œuvre tout ou partie d'une solution constructive ;
- travailler en équipe et communiquer.

C'est dans ce type d'activité que les sciences de l'ingénieur prennent tout leur sens et induisent, par une démarche créative, le goût pour la réussite.

## Axes principaux de la formation

La formation en SI repose sur quatre axes qui structurent les acquis. Les axes retenus, relatifs aux produits pluritechniques, sont les suivants :

- la chaîne d'information (I) ;
- la chaîne d'énergie (E) ;
- l'analyse fonctionnelle (AF) ;
- la représentation et la schématisation (R).

Les deux premiers axes sont abordés selon les points de vue suivants :

- structures fonctionnelles, architectures matérielles et logicielles ;
- connaissance des solutions constructives ;
- comportements attendus ;
- principes, règles et lois qui les régissent.

Les deux derniers axes s'intègrent de façon naturelle dans toute analyse d'un système pluritechnique. Ils permettent de le justifier par une approche technico-économique structurée et de s'approprier les différents outils nécessaires à la représentation et à la définition technique des solutions.

Ces 4 axes correspondent à des connaissances identifiées dans le chapitre C du référentiel.

## Centres d'intérêt et thématiques à aborder en travaux pratiques

Les activités pratiques s'articulent autour de douze centres d'intérêts (CI) particuliers qui sont associées aux axes principaux de la formation. Le centre d'intérêt, qui est de nature cognitive ou méthodologique, cible la préoccupation pédagogique sur une classe de problèmes ou de solutions technologiques. Il permet de déterminer les activités proposées aux élèves, et constitue un cadre de structuration des acquis. L'identification d'un centre d'intérêt résulte de l'analyse du programme (compétences et savoirs) et de l'identification de points clés de la formation.

Les centres d'intérêt permettent :

- une gestion temporelle du groupe d'élèves et la construction de schémas de formation avec une gestion par cycles ;
- d'exploiter des supports différents ; réciproquement, un même support technique peut contribuer aux apprentissages concernant plusieurs centres d'intérêt, ainsi tous les élèves d'un groupe n'ont pas nécessairement fait les mêmes manipulations à l'issue du cycle, mais ils ont eu la possibilité d'apprendre la même chose ;
- de limiter le risque de parcellisation des connaissances dans le temps, éloignant les phases de découverte et d'action des moments de synthèse et de consignation des connaissances (défaut accentué lorsque le nombre de TP différents est élevé et lorsqu'ils traitent de thèmes d'études différents) ; lorsque le professeur arrive à proposer dans une même séquence de travaux pratiques des activités centrées autour d'un nombre de thèmes limités, cela réduit la durée d'un cycle de TP, limite les phases de présentation et de synthèse et rapproche les phases d'action de celles de formalisation.

La gestion des centres d'intérêt dans les cycles successifs de travaux pratiques doit prendre en compte :

- les contraintes de durées (une proposition de répartition des durées d'enseignement est donnée dans l'annexe 1) ;
- les contraintes d'antériorité entre activités ; en particulier un même centre d'intérêt peut être présent dans des cycles successifs mais avec des compétences visées ou des degrés d'approfondissement progressivement plus importants ;

- les contraintes matérielles touchant aux objets, systèmes, appareillages divers et environnement informatique disponibles.

En identifiant quelques centres d'intérêts choisis pour leur pertinence et leur opérationnalité, l'équipe pédagogique pourra choisir de bâtir des parcours de formation structurés et dynamiques fondés sur à la fois une alternance et une association des centres d'intérêt traités, avec une progressivité des apprentissages proposés dans chaque CI. Pour aider les professeurs dans cette tâche, chaque centre d'intérêt est accompagné d'une liste de thèmes fondamentaux à traiter lors de travaux pratiques, de manière isolée ou en association avec d'autres.

Le document d'accompagnement propose 12 centres d'intérêt présentés dans le tableau 1 auxquels sont associées des thématiques de TP. Les thématiques qui doivent faire l'objet de travaux pratiques spécifiques d'approfondissement plus importants que la moyenne sont repérés par une astérisque (\*).

Cette proposition ne préjuge pas de l'évaluation et peut parfaitement être modifiée dans la pratique. Elle se veut simplement une aide à l'organisation des apprentissages durant les deux années et l'ajout d'un ou deux points par dédoublement de quelques-unes des propositions est envisageable pourvu qu'il soit formalisé et qu'il résulte d'une réflexion de l'ensemble de l'équipe pédagogique.

En effet, **si un TP doit viser un ou plusieurs objectifs d'apprentissage, il doit aussi s'intégrer dans un dispositif technologique plus large qui le justifie et lui donne du sens.** Certains thèmes feront appel à plusieurs TP pour atteindre l'ensemble des objectifs et il sera souvent nécessaire, sur l'initiative de l'équipe pédagogique, et pour une même thématique, de renouveler certains TP avec des supports différents pour asseoir progressivement les acquis des élèves.

La liste ne préjuge en rien de l'ordre dans lequel ils seront effectués.

*Tableau 1 : Thématiques de T.P. à réaliser.*

Axe	Thématique	Contenu global associé
<b>CI.1 : Fonctionnalités, architecture et structure d'un système pluritechnique</b>		
AF1	Approche externe de l'analyse fonctionnelle : le CdCF	L'identification du besoin d'un produit, de ses fonctions de service et de son cahier des charges fonctionnel.
AF2	Approche interne de l'analyse fonctionnelle : le FAST	L'architecture fonctionnelle d'un produit, ses fonctions techniques, et les flux (physique, énergie, information) qui conditionnent son fonctionnement.
AF3	Architecture fonctionnelle des chaînes d'information et d'énergie, frontières et flux	La notion de frontière de description et la typologie des entrées et des sorties.

#### **CI.2 : Représentation et schématisation**

R1	Elaboration des schémas de principe	La traduction par un schéma non normalisé d'un principe, d'une solution constructive observée.
R2*	Elaboration des schémas cinématiques, architectural ou technologique	Le codage normalisé de tout ou partie d'un système pour analyser ses mouvements, son architecture, ses composants.
R3	Elaboration des schémas électriques	L'observation et le décodage d'un circuit de puissance électrique et sa représentation normalisée symbolique.
R4	Elaboration des schémas pneumatiques	L'observation et le décodage d'un circuit pneumatique et sa représentation normalisée symbolique.
R5*	Représentation d'une pièce et arbre de construction	L'observation et l'identification de contraintes fonctionnelles d'un sous-ensemble réel et leur influence sur l'arbre de construction d'une pièce.
R6*	Représentation d'un mécanisme et arbre d'assemblage	L'observation et l'identification de contraintes fonctionnelles d'un sous-ensemble réel et leur influence sur les contraintes d'assemblage et l'arbre d'assemblage.

R7*	L'investigation sur une maquette numérique	L'exploitation des fonctionnalités basiques du logiciel pour : o extraire des pièces ou sous-ensembles en fonction d'un besoin spécifique ; o rechercher des limitations de fonctionnement ; o expliquer le fonctionnement d'un système.
R8	Le croquis plan et perspectif à main levée	L'intérêt et une maîtrise relative des croquis à main levée non normés pour exprimer une idée, un principe, préparer une construction.
R9	Le décodage de dessins 2D	Les principes du codage 2D normalisé, décoder de manière univoque un plan 2D d'ensemble et de définition, interpréter correctement une cotation ISO simple.

### CI.3 : Motorisation, conversion d'énergie

E1	Structure et fonctionnement d'un moteur à courant continu à vitesse variable	Le principe de fonctionnement, de construction et de pilotage d'un moteur à courant continu devant fournir une vitesse variable.
E2	Structure et fonctionnement d'un moteur asynchrone	Le principe de fonctionnement, de construction, de commande, de protection d'un moteur asynchrone.
E3	Structure et fonctionnement d'un actionneur linéaire	Le principe de fonctionnement, de construction et de pilotage d'un actionneur linéaire devant fournir un effort donné.

### CI.4 : Guidages et assemblages

E8	Etude de la fonction : assemblage	Les principales solutions constructives de liaisons complètes, démontables et permanentes, standardisées et spécifiques.
E9 *	Etude de la fonction : guidage en translation	Les principales solutions constructives de guidages en translation, standardisées et spécifiques.
E10 *	Etude de la fonction : guidage en rotation	Les principales solutions constructives de guidages en rotation, standardisées et spécifiques.
E14	Modélisation des assemblages mécaniques	Le principe du passage du réel au modèle cinématique d'un assemblage, comportement local et mobilité d'une liaison

### CI.5 : Transmission de puissance, transformation de mouvement

E11	Etude de la fonction transmission de puissance entre arbres parallèles	Le principe de transmission de puissance (géométrie, couple, vitesse, pertes) sur le cas particulier d'un mécanisme intégrant des arbres parallèles.
E12 *	Etude de la fonction transformation de mouvement	Le principe de transformation de mouvement (géométrie, trajectoires, vitesse, accélérations) sur le cas particulier d'un mécanisme intégrant un mouvement plan.
E15 *	Mouvements de solides plan sur plan	Les concepts de trajectoire, de vitesse et d'accélération, de modélisation vectorielle pour un mouvement particulier plan sur plan.
E17 *	Simulation du comportement mécanique (cinématique) d'un système	Le fonctionnement et le dimensionnement d'un mécanisme par simulation informatique à partir d'un modèle.

### CI.6 : Comportement statique et élastique des solides

E13 *	Principe de l'isolement et étude de l'équilibre statique d'un solide	La modélisation vectorielle des efforts, la notion d'isolement d'un solide dans un mécanisme et le principe d'un solide en équilibre statique.
E18	Sollicitations et déformations élastiques d'un solide	Les concepts de sollicitations simples, des déformations associées et des exemples d'utilisation techniques classiques (ressorts).
E19	Simulation du comportement mécanique sous charge d'une pièce	Les rôles des formes, des dimensions, du matériau d'une pièce simple par simulation informatique du comportement sous charge à partir de sa maquette numérique.

### CI.7 : Comportement dynamique et énergétique des systèmes

E4 *	Architecture, puissance et rendement d'une chaîne d'énergie	L'existence et la transformation de différentes formes d'énergie, leur dégradation et la relation entre énergie et puissance.
E7	Chaîne d'énergie directe et inverse : réversibilité	Le principe de la réversibilité mécanique étudié sur un mécanisme intégrant un système ou un composant approprié et le principe de la dissipation de l'énergie en chaîne inverse.
E 16	Etude dynamique d'un solide (translation et rotation)	Comportement dynamique d'un solide isolé en rotation autour d'un axe fixe ou en translation

### CI.8 : Pilotage, contrôle et comportement d'un système pluritechnique

E5	Liaison entre la chaîne d'énergie et la chaîne d'information	Les relations et connexions entre chaînes d'information et d'énergie, d'un point de vue interface de puissance.
E6 *	La modulation de l'énergie (liaison avec la chaîne d'information)	Les relations et connexions entre chaînes d'information et d'énergie d'un point de vue commande de la modulation de l'énergie.
I5 *	La commande de la chaîne d'énergie	Les relations entre chaînes d'information et d'énergie d'un point de vue interface de commande avec la puissance.
I13 *	Comportement réel d'un système pluritechnique	Les écarts entre le comportement spécifié d'une commande et un comportement réel observé.

### CI.9 : Acquisition et conditionnement des informations

I3	Transformation d'une grandeur physique à mesurer en une grandeur mesurable par détecteur TOR	Les principales solutions de transformation d'une grandeur physique à mesurer en une grandeur mesurable par détecteur TOR. Les contraintes de compatibilité d'une chaîne d'acquisition avec une chaîne d'information.
----	--	--

I4	Transformation d'une grandeur physique à mesurer en une grandeur mesurable par capteur à sortie analogique ou numérique	Le conditionnement du signal. Le traitement des signaux numériques en sortie du capteur.
----	---	---

### CI.10 : Traitement de l'information

I1	Structure et principe de fonctionnement d'un automate programmable industriel	Les structures matérielles et les spécificités de fonctionnement des API dans le contexte du contrôle de processus industriels.
I2	Structure et principe de fonctionnement d'un système à base de carte à microprocesseur	La structure matérielle et les spécificités des systèmes à base de microcontrôleur.
I11	Les systèmes numériques : mise en œuvre d'un microcontrôleur	La notion de réutilisation. Composants logiciels réutilisables dans un langage de haut niveau La lecture de la traduction d'une partie d'un algorithme en langage de haut niveau.

### CI.11 : Systèmes logiques (traitement combinatoire et séquentiel) et numériques

I6 *	Les systèmes logiques combinatoires	La commande combinatoire de systèmes simples ainsi que les représentations associées.
I7 *	Systèmes logiques séquentiels : la fonction mémoire	La fonction mémoire et les technologies associées : réalisations logicielles et matérielles.
I8 *	Systèmes logiques séquentiels : les fonctions comptage et retard	Les boîtes fonctionnelles comptage et retard ainsi que les caractéristiques d'évolution temporelle des entrées / sorties de ces opérateurs.
I9 *	Systèmes logiques séquentiels : Grafct	La description de comportements séquentiels par l'outil Grafct. Son utilisation et sa mise en œuvre.
I10	Systèmes numériques : implantation d'un algorithme en langage littéral structuré	Les bases de l'algorithmique appliquées à des systèmes ainsi que la mise en œuvre de programmes de commande de processus simples.

### CI.12 : Communication et réseaux

I 12 *	La communication de l'information	L'architecture d'un réseau de communication ainsi que sa configuration (adressage). Les contraintes de compatibilités des constituants interconnectés.
--------	-----------------------------------	---

## Utilisation des niveaux taxonomiques

S'il n'était pas limité par des niveaux taxonomiques, le programme de SI aurait une dimension telle qu'il pourrait convenir à des formations supérieures. La prise en compte de ces niveaux d'acquisition et de maîtrise est donc un élément déterminant pour la construction de la formation en Sciences de l'Ingénieur.

La difficulté, pour l'élaboration des séquences d'enseignement, est relative au degré d'approfondissement qu'il y a lieu d'effectuer par rapport à un savoir ou un savoir-faire. Dans le cadre du baccalauréat S-SI quatre niveaux ont été retenus :

### Niveau 1

**C'est le niveau de l'information.** L'élève sait de quoi il parle. Il peut donc par exemple identifier, reconnaître, citer, éventuellement désigner un élément, un composant sur une représentation ou au sein d'un système. A ce niveau l'élève n'est pas capable d'expliquer, ni d'associer un réel à une de ses représentations.

### Niveau 2

**C'est le niveau de l'expression.** Ce niveau est relatif à l'acquisition de moyens d'expression et de communication en utilisant le registre langagier de la discipline. Il s'agit à ce niveau de maîtriser un savoir. L'élève doit "parler" de l'objet de l'étude en expliquant par exemple un fonctionnement, une structure, etc.

### Niveau 3

**C'est le niveau de la maîtrise d'outils.** Cette maîtrise porte sur la mise en œuvre de techniques, de règles et de

principes en vue d'un résultat à atteindre. C'est le niveau d'acquisition de savoir-faire cognitifs (méthode, stratégie, ...). Ce niveau permet donc de simuler, de mettre en œuvre un équipement, de réaliser des représentations, de faire un choix argumenté, etc.

### Niveau 4

**C'est le niveau de la maîtrise méthodologique.** Il vise à poser puis à résoudre les problèmes. Il correspond à une maîtrise totale de démarche en vue d'un but à atteindre.

Le programme de SI n'a pas, en terme de savoirs, d'objectifs de niveau 4.

Il est clair que si chacun des niveaux contient le précédent, il faut être attentif à ne pas dépasser les exigences attendues. Les évaluations à conduire ne se réfèrent, pour cette formation, qu'aux niveaux 2 et 3 pour lesquels elles sont aisées à concevoir.

Les niveaux taxonomiques précisés dans le programme officiel, rapprochés du tableau de l'annexe 1, permettent de construire les TP et les cours et d'organiser la progressivité des apprentissages. En effet, ils sont un indicateur précieux pour :

- déterminer la durée de chaque apprentissage (plus le niveau est élevé, plus il faut y consacrer de temps) ;
- choisir et organiser les redondances utiles (plus le niveau est élevé et plus il faudra revenir sur la connaissance ou le savoir-faire visé).

Le niveau détermine aussi, pour partie, le choix des supports et systèmes : en effet, plus il est élevé et plus la variété des situations proposées aux élèves, et donc souvent celle des systèmes supports, devra être importante si l'on veut soutenir l'intérêt des élèves et limiter la lassitude qui peut s'installer lors d'une utilisation par trop répétée d'un même système technique.

Cours de SI : 2h	TPE ou PPE : 2h	TP : 2h	TP : 2h
Cours de SI : 2h	TPE ou PPE : 2h	TP : 3h	Syn : 1h
Cours de SI : 2h	TPE ou PPE : 2h	TPE ou PPE : 3h	Syn : 1h
Cours de SI : 2h	TPE ou PPE : 2h	TPE ou PPE : 4h	

Tableau 2 : Exemples d'organisation des séances d'activités pratiques

## Planification des activités

L'approche pluritechnique d'un système exige la mobilisation simultanée de savoirs et de savoir-faire relatifs à plusieurs domaines de technologies. Il est donc important que les élèves puissent trouver un professeur capable de répondre à leurs attentes quelles que soient les tâches qu'ils mènent.

Lorsque l'enseignement est assuré par deux enseignants de sciences de l'ingénieur, il est conseillé d'accueillir une classe entière dans un site unique en présence des deux enseignants, sur une plage de 4 heures consécutives de travaux pratiques.

**Dans tous les cas, l'évaluation sera unique et ne fera l'objet que d'une seule note et d'une seule appréciation sur le bulletin scolaire de l'élève.**

Les activités de travaux pratiques sont à privilégier sur des durées de deux heures (soit deux TP courts par plage de 4 heures). Cette durée, relativement courte, induit la création de TP conçus pour une mise en œuvre rapide des équipements et pour atteindre directement un objectif d'apprentissage. Ce choix présente les avantages suivants :

- l'objectif de formation est ciblé et souvent unique ;
- l'estimation du niveau d'acquisition de cet objectif est simplifiée ;
- l'élève identifie son apprentissage et évalue sa performance ;
- l'activité proposée est courte, précise et dynamique.

## Les travaux pratiques

Le livret traite de deux aspects importants et complémentaires des travaux pratiques à mettre en œuvre dans la formation en SI :

- leur pertinence d'un point de vue pédagogique, en proposant une typologie des activités pratiques selon des objectifs pédagogiques identifiés ;
- les supports techniques sur lesquels ils s'appuient, qui constituent l'équipement des laboratoires et qui doivent être choisis avec attention pour répondre aux objectifs précédents.

## Typologie des travaux pratiques

Les activités de travaux pratiques ont, dans les enseignements de SI, une quadruple vocation :

- la découverte et la construction d'une représentation d'un savoir nouveau ;

Par contre, dans certaines activités pratiques (interventions physiques sur le système, configuration matérielle, tests de programme, etc.), la durée de deux heures est trop courte et le professeur doit pouvoir proposer des plages de trois heures.

Afin de disposer de plages de durées variables de 2 à 3 heures consécutives pour la mise en œuvre de certains travaux pratiques, tout en conservant la possibilité d'activités pratiques de deux heures et pour faciliter l'organisation des activités de TPE (Travaux Personnels Encadrés) et de PPE (Projet Pluritechnique Encadré), il est proposé de planifier les 8 heures d'enseignement de SI sur deux plages non consécutives de 4 heures, permettant de prévoir :

- 2 heures de cours en classe entière (1 professeur) ;
- 6 heures d'activités pratiques de SI en classe entière, (2 professeurs) respectant une moyenne annuelle de 4 heures de travaux pratiques sur une plage, soit de 4 heures consécutives, soit de 2 heures de TPE ou de PPE, selon le cas.

Le tableau 2 illustre des configurations possibles de planification des activités (associant les TPE en première et le PPE en terminale) selon les besoins pédagogiques du moment. Ce mode de fonctionnement souple et variable impose d'informer les professeurs des enseignements généraux associés aux TPE et éventuellement au PPE des plages horaires de travail des élèves et du rythme des alternances.

- l'application et la mise en œuvre de savoirs et savoir-faire à des situations variées dans une logique de consolidation des connaissances qui impose redondance et récurrence des apprentissages ;
- la recherche et la validation des solutions techniques dans le cadre du Projet Pluritechnique Encadré ;
- l'évaluation de compétences attachées aux activités pratiques.

Cette classification montre que le terme « travaux pratiques » recouvre une grande variété de situations pédagogiques, qui peuvent toutes être pertinentes à un instant donné, mais qui doivent être adaptées à la situation de formation envisagée.

Dans cette formation les TP sont systématiquement associés à :

- un support technique réel, représentatif de l'état actuel des techniques, donc porteur de sens pour les

- élèves et qui participe à l'augmentation de leur culture des solutions constructives ;
- une problématique technique réaliste, donnant du sens aux apprentissages ;
  - un aller et retour systématique entre le fonctionnement réel et les modèles scientifiques et techniques utilisés pour l'expliquer et justifier son comportement et ses performances.

### **TP destinés à découvrir et apprêhender un savoir nouveau**

Dans ce cas, l'élève est en situation de découverte.

Il ne connaît pas le concept proposé, n'en a pas de représentation mentale juste ou en a une représentation incomplète. La ou les activités proposées vont lui permettre de découvrir une connaissance attachée à :

- une loi, une règle, un principe ;
- une méthodologie, une procédure ;
- une architecture, une solution constructive.

Cette mise en situation concrète et motivante permet au professeur d'engager ultérieurement des approfondissements scientifiques et technologiques fondés sur une réalité observée. Il est évident que cette première rencontre avec un concept ou une solution est fondamentale et qu'elle doit installer dans la pensée de l'élève des notions pouvant être limitées mais justes.

Le rôle de ce type de travail pratique est fondamental pour la présentation de concepts relevant de procédures de fonctionnement, de constatation des effets d'une loi, d'une règle, d'une démarche. De plus, il installe les bonnes représentations mentales des phénomènes, ce qui est indispensable à la compréhension fine et à la mémorisation des lois et des principes qui sont associés aux problèmes techniques abordés.

### **TP destinés à l'application et à la mise en œuvre de savoirs et savoir-faire**

Après avoir découvert et approché un concept, le professeur propose à l'élève d'approfondir sa connaissance et sa maîtrise opératoire au travers d'une activité concrète menée en autonomie complète ou partielle (travail seul, en binôme, en équipe...). L'action proposée s'appuie sur des savoirs formalisés antérieurement et permet, dans un cadre souvent convivial et propice au dialogue entre élèves et avec le professeur, de lever des ambiguïtés, de corriger des incompréhensions, de compléter et d'approfondir des connaissances dans un contexte technologique fort qui donne du sens à cette activité.

Pour être efficace, ce type de travail pratique doit :

- s'appuyer sur un produit réel, sur la résolution d'une problématique technique pertinente et intégrer l'alternance entre réel et modèle ; cette approche donne du sens aux apprentissages et évite des comportements d'élèves qui viseraient d'abord à « répondre à des questions », sans percevoir les tenants et aboutissants technologiques de leur travail et sans dégager ni consigner des connaissances particulières ;
- favoriser l'autonomie de réflexion des élèves et leurs capacités de propositions ; il ne suffit pas de proposer un document de guidance fort, de décomposer à l'extrême le problème posé, de se satisfaire que le TP soit terminé dans le temps imparti et avec le maximum d'autonomie des élèves, pour affirmer qu'il aura été formateur.

Il apparaît donc indispensable de trouver dans ce type de travail pratique son objectif premier qui est :

- pour le professeur, de dégager les points de blocage et d'apporter en temps réel des propositions de remédiation en mobilisant les savoirs et savoir-faire dans des situations différentes, dans une logique de redondance aidant à la consolidation ;
- pour l'élève, de travailler dans un contexte technique réel qui lui donne envie de comprendre et de réussir.

### **TP de recherche et de validation de solutions techniques**

Cette activité particulière est proposée dans le cadre du projet pluritechnique encadré.

Dans les démarches industrielles de conception il s'agit de répondre à une demande technique exprimée et formalisée (spécifications du besoin, cahier des charges), en mettant en œuvre une démarche à caractère professionnel, garantissant la qualité de la prestation et de sa production. Dans le cadre du projet pluritechnique encadré, les activités attendues peuvent correspondre en partie à cette approche lorsqu'un certain nombre de conditions sont réunies, comme :

- l'assistance technique et organisationnelle du professeur, qui doit être ici importante ;
- le niveau de technicité attendu, qui doit rester limité et réaliste ;
- la résolution d'un problème concret et motivant, qui amène les élèves à se dépasser collectivement et à atteindre ponctuellement des niveaux de performance élevés.

Ces travaux pratiques particuliers permettent de mettre en œuvre tous les outils techniques appréhendés en cours de formation (analyses, simulation des comportements, programmation, agencement de composants, câblages, outils de représentation, etc.) dans une logique de conception et de travail en équipe.

### **TP d'évaluation**

La formation en SI faisant une large place aux savoir-faire cognitifs, il est indispensable de les évaluer dans des phases spécifiques, dans la logique de l'épreuve d'examen. Cette prise en compte particulière présente également l'avantage de ne pas méler dans une même phase : des activités de formation (durant lesquelles les élèves ont un droit à l'erreur qui doit être utile à la consolidation des savoirs), avec des activités d'évaluation sommatives fondées sur un contrat explicite passé entre élève et professeur.

Il revient donc à l'équipe enseignante d'identifier les savoir-faire cognitifs relevant de ces évaluations et de proposer des activités d'évaluation courtes (2 heures), ciblées et supportées par des produits du laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

## **Typologie des supports de travaux pratiques**

Les applications et expérimentations nécessaires à l'appropriation des connaissances sont conduites au laboratoire sur des équipements retenus pour leur représentativité, leur modernité et leur pertinence pédagogique.

Le programme de SI ouvre largement l'éventail des supports d'étude possibles.

En complément des systèmes de production automatisés (généralement de conditionnement et de manutention), déjà largement présents dans les laboratoires, il intègre maintenant les objets pluritechniques de l'environnement quotidien de l'élève, représentatifs des techniques actuelles, qu'ils soient ou non automatisés.

Les supports de travaux pratiques peuvent être classés selon deux approches complémentaires :

- en fonction de leur utilisation , ce qui permet aux équipes enseignantes d'essayer de respecter un équilibre entre les différentes familles de produits présents dans les laboratoires ;
- en fonction des aménagements didactiques, qui peuvent être inexistant, limités ou conséquents et complexes.

### Classification des systèmes supports de travaux pratiques

Le tableau 3 propose une classification possible des familles de supports disponibles sur le marché des produits pédagogiques et les caractérise selon des critères techniques et pédagogiques.

### Adaptation des supports aux activités de travaux pratiques

A partir de leur état commercial, les supports sont mis à disposition des élèves dans des configurations adaptées aux objectifs pédagogiques.

*Tableau 3 : Classification des supports de travaux pratiques.*

Familles de systèmes	Exemples (liste non exhaustive)	Caractéristiques
Produits industriels	Systèmes de production de bien ou de service <i>Générateur, transformateur d'énergie</i> <i>Pompe solaire</i> <i>Systèmes de contrôle d'accès</i>	Avantages : - partie opérative à structure simple ; - chaînes d'énergie et de commandes identifiables et ouvertes ; - intégration des fonctions limitées ; - programmation accessible et adaptée à une variété de tâches ; - interface homme-machine explicite ;
	Systèmes d'assemblage et de conditionnement <i>Système de remplissage</i> <i>Appareils portatifs, outillages</i> <i>Systèmes de positionnement</i>	Inconvénients : - image peu représentative de la technologie quotidienne des jeunes.
	Systèmes de manutention <i>Système de convoyage</i> <i>Système de tri de pièces</i> <i>Système d'assemblage</i> <i>Systèmes de contrôle</i> <i>Commande d'axe</i>	
Produits grand public	Systèmes « fermés » ; pré-programmés <i>Péphériques de micro-informatique</i> <i>Systèmes embarqués</i> <i>Systèmes de transports</i> <i>Systèmes immobiliers</i> <i>Appareils électroménagers</i>	Avantages : - image très représentative des technologies actuelles ; - programmation accessible et adaptée à des tâches spécifiques ;
	Systèmes programmables <i>Robots domestiques</i> <i>Systèmes de loisirs et de sports</i> <i>Appareils associés à la micro-informatique, l'audiovisuel</i> <i>Jouets scientifiques</i>	Inconvénients : - partie opérative à structure parfois complexe ; - intégration des fonctions élevée ; - chaînes d'énergie et de commandes peu lisibles ; - interface homme machine limitée.
Produits didactiques	Etudes des comportements d'un actionneur... <i>Banc d'étude d'un vérin pneumatique</i> <i>Banc d'étude d'une motorisation électrique</i>	Produits dédiés à un apprentissage précis, permettant des activités pratiques de découverte, d'analyse et de formalisation des connaissances.
	Platinas de tests d'une famille de composants... <i>Platine de câblage de commande d'un actionneur</i> <i>Platine de tests de capteurs</i>	
	Etude d'un concept, d'une loi... <i>Appareil permettant la matérialisation des efforts dans une liaison</i> <i>Pince photo élastique</i> <i>Banc de traction-flexion</i>	

**Les systèmes didactisés :** il s'agit de rendre possible l'utilisation et l'investigation des élèves dans un système technique, un sous-système, un composant. Certains systèmes sont dangereux (risques de coupure, de coincements, de chocs électriques) et sont conçus pour protéger leurs utilisateurs... ce qui empêche généralement les élèves d'accéder à l'observation, la mesure, l'analyse du fonctionnement, etc. Pour être utilisés dans le laboratoire ces systèmes sont donc aménagés (protections particulières, sorties de mesures déportées, pièces transparentes, assemblages coupés, pièces usinées à de nouvelles dimensions...).

Dans d'autres cas, la didactisation permet de privilégier l'étude d'un sous-système particulier qu'il faut replacer dans son contexte. Le produit peut alors être simplifié, maquettisé de façon à justifier le rôle et l'étude du support de formation. Lorsqu'il faut étudier un composant ou une famille de composants, il est parfois intéressant de mettre ce dernier dans une ou plusieurs situations de fonctionnement pour expliciter certaines de ses caractéristiques, en lien avec la documentation industrielle.

**Les systèmes instrumentés :** il s'agit de systèmes dont l'étude nécessite une mise en situation précise, pour investiguer des lois d'entrée-sortie particulières, exigeant

une instrumentation fixe et pré réglée. Cette instrumentation est parfois lourde et conduit à des systèmes fermés, peu flexibles, conçus pour répondre à des activités identifiées. Ces systèmes intègrent souvent un interfaçage vers un micro-ordinateur pour permettre la saisie des informations de mesure, leur traitement et leur présentation. Ils doivent également être complétés par la mise à disposition de sous-systèmes d'étude complémentaires facilitant la découverte et la compréhension des constituants.

Globalement, dans un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur, aucune configuration de système n'est prépondérante sur les autres... elles sont complémentaires, associables et doivent répondre à des objectifs pédagogiques de formation scientifique et technologique. Il sera possible de trouver des mécanismes simples, non didactisés et non instrumentés à côté de systèmes plus importants, didactisés ou instrumentés qui, à cause de leur capacité à réaliser un maximum d'activités pertinentes, pourront être en nombre significatif (il restera à vérifier que ces systèmes onéreux et complexes offrent un nombre suffisant d'exploitations pour justifier leur coût).

## L'approche système

### Généralités

Dans la continuité de l'ancien programme de technologie industrielle, afin d'aider nos élèves à aborder en analyse et en conception des produits et systèmes pluritechniques souvent complexes, l'approche systémique globale et structurée a été privilégiée. Elle donne en effet les outils conceptuels utiles en SI à toute démarche d'analyse et de conception, qui se doit d'être rigoureuse et qui nécessite de structurer sa pensée.

La fonction principale de tout système pluritechnique étudié en SI est d'apporter une valeur ajoutée à un flux de matière, de données et (ou) d'énergie. Pour chacun de ces trois types de flux, un ensemble de procédés élémentaires de stockage, de transport et (ou) de traitement est mis en œuvre pour apporter la valeur ajoutée au(x) flux entrant(s). On peut distinguer au sein des systèmes pluritechniques deux parties, l'une agissant sur les flux de données, appelée chaîne d'information, l'autre agissant sur les flux de matières et d'énergies, appelée chaîne d'énergie.

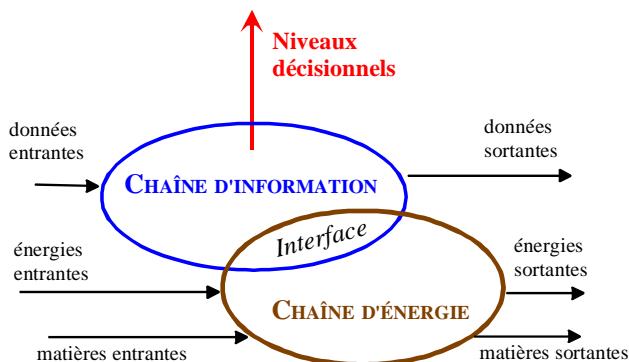


Figure 1 : Modèle général d'un système pluritechnique.

Les évolutions les plus notables, ces dernières années, portent sur le développement de la chaîne d'information, son élargissement et son intégration dans les réseaux mondiaux. Cette évolution irréversible est intégrée dans les enseignements de SI. Par ailleurs, elle permet d'illustrer la variété des niveaux de hiérarchies décisionnelles utilisés dans le pilotage des systèmes (du pilotage temps réel automatique au plus près des actionneurs, au pilotage à distance sur décision humaine).

### L'approche par fonctions : analyse et synthèse

L'approche pluritechnique de la technologie par les fonctions techniques des produits a le double avantage d'induire simultanément les démarches d'analyse (apprentissage) et de synthèse (conception), en fournissant un cadre cognitif systématique (voir figure 2).

Lors de l'apprentissage, l'élève « transforme le produit en connaissance ». Il mémorise l'architecture et les flux (information, énergie et matières) avec une compréhension globale du fonctionnement géré par la succession des fonctions. Puis, par l'étude des fonctions techniques, il assimile simultanément dans un cadre cohérent les solutions constructives qui les réalisent et les principes de comportement qui gèrent leur fonctionnement réel.

En projet de conception, partant du concept de produit, traduit par exemple par le diagramme FAST, il devient ainsi capable de mobiliser ses acquis structurés pour la recherche de la solution adaptée à chacune des fonctions techniques, et l'étude de son fonctionnement avec son dimensionnement.

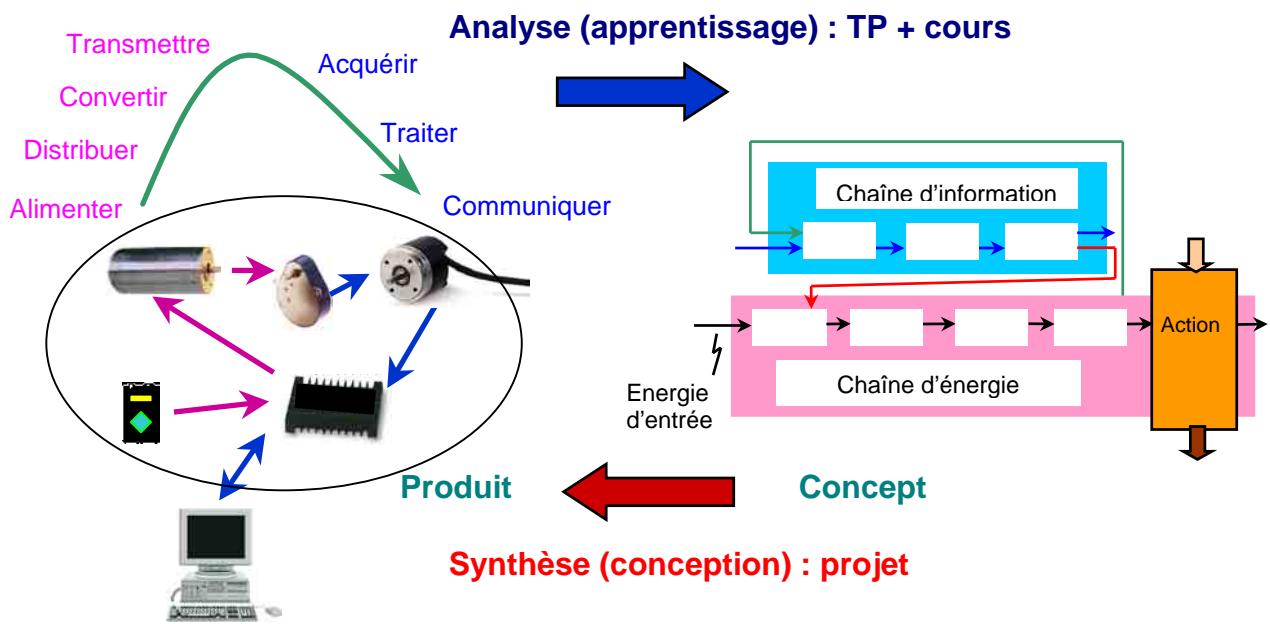


Figure 2 : L'approche par fonctions dans les démarches d'analyse et de synthèse

L'approche globale des systèmes, en vue de leur analyse ou de leur conception, conduit à distinguer deux entités génériques :

- la chaîne d'information (qui transfère, stocke, transforme l'information) ;
- la chaîne d'énergie (qui transforme l'énergie et permet d'agir sur le système physique),

chacune décomposée en un nombre limité de fonctions techniques principales, qui fournissent le cadre des apprentissages la formation et de la pensée en système. Cette structure type est représentée sur la figure 3.

### Approches externe et interne des fonctions techniques

Pour compléter cette logique d'analyse, chacun de ces deux axes principaux de la formation est proposé à l'étude

des élèves selon deux niveaux.

**Une approche externe**, qui permet de comprendre les architectures et d'expliquer le fonctionnement global en :

- identifiant, définissant, justifiant chaque fonction d'une chaîne, sa solution constructive, ses solutions d'adaptation ;
- quantifiant les relations entre les grandeurs physiques d'entrée et de sortie et les interactions entre les fonctions successives par des mesures, des documents techniques, des modèles, des simulations ;
- identifiant et quantifiant les flux et les transformations d'énergie (puissance) et d'information (nature, protocole,...).

Cette démarche est essentielle à la compréhension globale des systèmes et à l'acquisition progressive de la culture

#### Informations destinées à d'autres systèmes et aux interfaces H/M

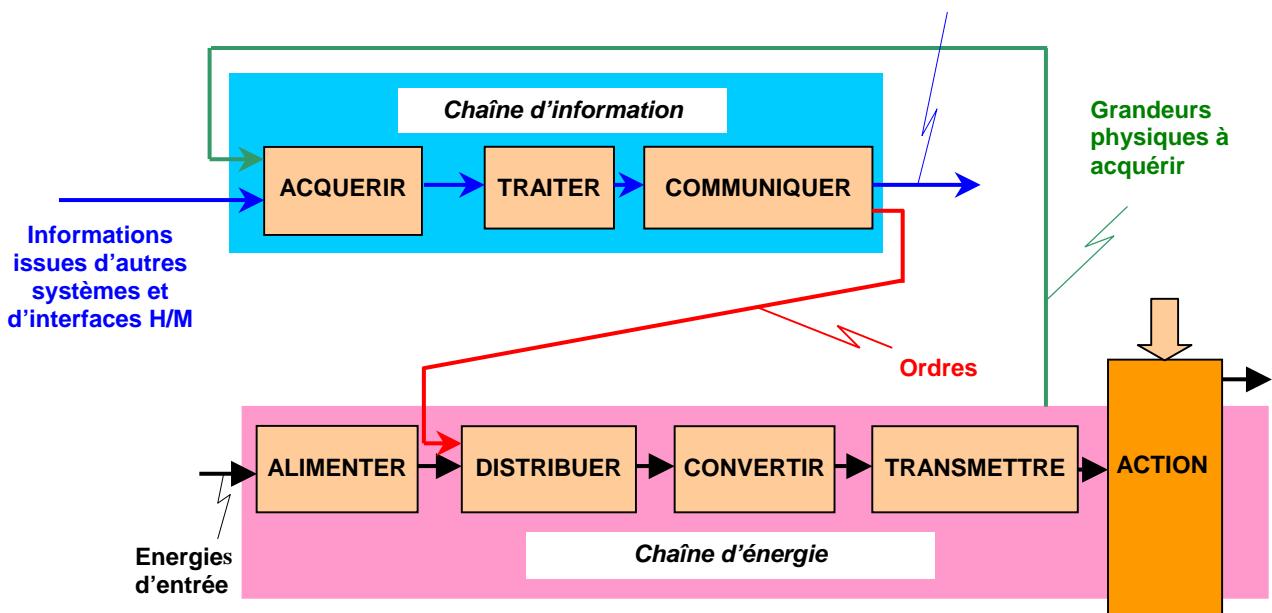


Figure 3 : Les fonctions génériques présentes dans les chaînes d'énergie et d'information d'un système pluritechnique.

technique des élèves. Elle ne doit pas être sous-estimée et doit représenter une partie non négligeable des activités des élèves.

**Une approche interne**, qui permet la compréhension du fonctionnement et le rapprochement du comportement réel avec les principes, lois et modèles par des approfondissements locaux en :

- identifiant, définissant et justifiant la structure matérielle d'une solution constructive réalisant une fonction donnée ;
- intervenant finement sur l'analyse et la vérification d'une performance donnée, son adaptation et sa modification.

Cette approche interne ne concerne généralement que des constituants internes mécaniques, électriques, électroniques et informatiques, le référentiel limite de fait le niveau d'approfondissement attendu (il est évident que les objectifs de formation visés, le temps imparti et le niveau d'étude ne permettent pas un traitement exhaustif de chaque centre d'intérêt...).

Une analyse des compétences attendues et des connaissances associées du référentiel montre

que l'analyse mécanique des constituants reste globale, les comportements locaux ne sont pas approfondis et servent à justifier qualitativement une solution constructive.

D'autre part, il est à noté que le référentiel préconise une approche de l'électronique plus fonctionnelle, privilégiant les aspects logiciels et matériels.

L'électronique du signal analogique, autour des composants ou constituants élémentaires, n'est plus traitée, alors qu'elle tenait une place importante dans l'ancien référentiel.

Ce choix est dicté par le haut niveau d'intégration entre les fonctions techniques globales présentes dans une structure électronique et les composants de plus en plus intégrés qui la composent physiquement. Cette évolution repousse l'analyse et la conception de tels produits à des niveaux de formation plus élevés et rend quasi-impossibles des investigations physiques sur des fonctions élémentaires, ainsi que les simulations du comportement analogique d'une carte, qui ne sont plus d'actualité.

## Axes principaux de la formation

### La chaîne d'énergie

#### Le concept de la chaîne d'énergie

La chaîne d'énergie, associée à sa commande, assure la réalisation d'une fonction de service dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges. Repérable sur la plupart des produits et systèmes de notre environnement et des milieux industriels, elle est constituée des fonctions génériques : *Alimenter, Distribuer, Convertir, Transmettre* qui contribuent à la réalisation d'une *action* (voir figure 4).

L'action à réaliser impose un flux d'énergie (sens et niveau) que le système doit transmettre et gérer par sa commande. Les performances dépendent des caractéristiques des divers constituants.

Dans ce contexte, le programme précise les contenus détaillés dans deux parties intimement liées : les chapitres B1 et B2 pour les solutions constructives, et le chapitre C1 pour les principes physiques et les lois de comportement qui leur sont associés. L'étude par les élèves d'une chaîne d'énergie intègrera donc simultanément des contenus

appartenant à ces différents chapitres.

Cette partie du programme est à mettre en relation avec le cours de Physique de première S. Le programme appelle en particulier les savoirs acquis sur : l'énergie potentielle ou interne de pesanteur, élastique ou thermique ; l'équivalence entre travail (ou puissance) et variation d'énergie cinétique (par unité de temps) ; les transformations d'énergie potentielle en énergie cinétique ; le couplage électromécanique et sa réversibilité ; les notions de conservation d'énergie (ou de puissance), de dissipation, de rendement et de bilan. De même, la vibration d'un système masse – ressort, vue en terminale, pourra être rapprochée de l'observation des vibrations induites dans un système, les éléments ressorts pouvant être l'élasticité d'un élément de structure ou d'un contact. Il est donc souhaitable qu'une coordination étroite s'établisse entre l'enseignant de Sciences de l'Ingénieur et l'enseignant de Physique. En particulier, il est très important que l'élève distingue bien comment les lois fondamentales abordées en Sciences Physiques autour de la mécanique du point dans des situations idéales, se traduisent dans les comportements des solides, déformables ou non, à l'intérieur des solutions

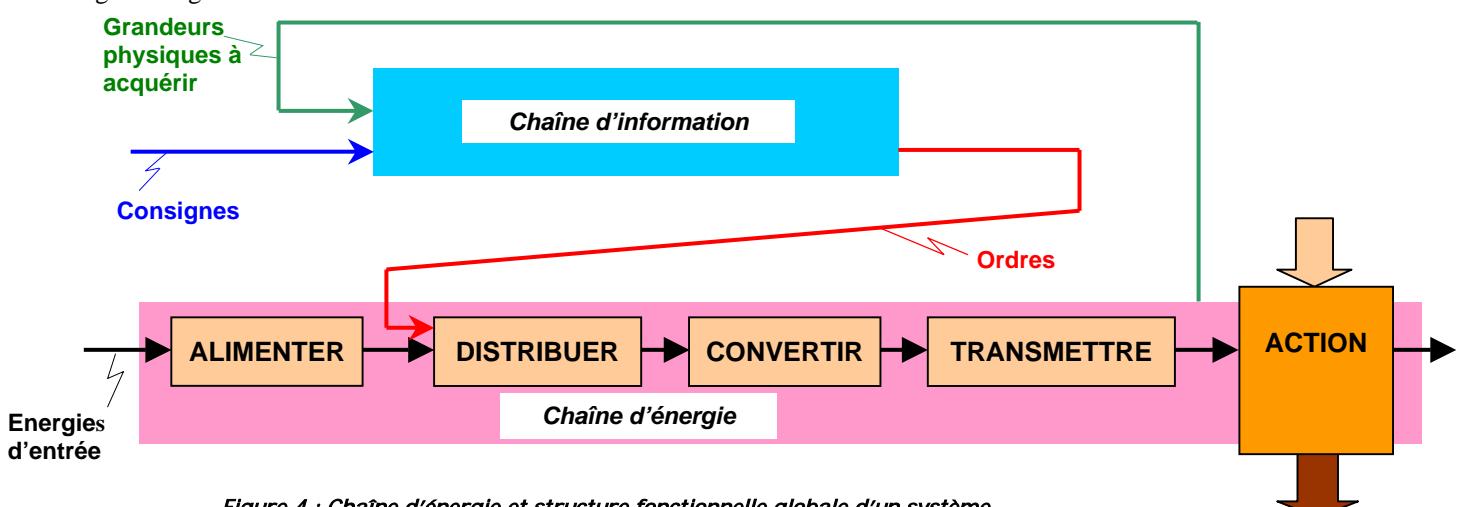


Figure 4 : Chaîne d'énergie et structure fonctionnelle globale d'un système.

constructives qu'il découvre dans les Sciences de l'Ingénieur.

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

L'étude des chaînes d'énergie sera conduite selon les deux approches : externe et interne, en s'appuyant systématiquement sur le réel et sur ses représentations.

### L'approche externe

L'approche externe de la chaîne d'énergie et de ses composants conduit à définir la nature et les formes d'énergies utilisées ainsi que leur évolution (niveau de puissance) sur le trajet du flux d'énergie. Les notions d'élément moteur, d'élément récepteur, d'échanges avec le milieu extérieur, de puissances transmises et dissipées, et donc de rendement, peuvent ainsi être introduites.

Cela doit conduire, par des observations et des mesures, à l'identification et, lorsque cela est possible, à la quantification des paramètres d'entrée et de sortie de chacun des constituants de la chaîne. Il est essentiel d'aborder concrètement les ordres de grandeur des énergies, de la puissance, les notions de point de fonctionnement, de rendement d'un composant et de rendement global d'une chaîne d'énergie.

La prise en compte des contraintes d'implantation, de liaison ou de connexion et de mise en œuvre des composants de la chaîne, vise à faire émerger la notion de compatibilité entre les constituants et d'homogénéité d'une chaîne d'énergie dans son ensemble, qui contribue à construire les bases d'une bonne démarche de conception.

### L'approche interne

Cette approche s'intéresse aux solutions constructives réalisant les fonctions techniques qui cohabitent au sein du système étudié. Elle conduit à associer à ces solutions constructives des principes physiques mis en jeu et des modèles de comportement permettant : en démarche d'analyse, la détection, la compréhension et l'évaluation des phénomènes ; en phase de projet : la recherche d'une solution, sa validation et son dimensionnement.

Il est donc nécessaire de développer chez l'élève, à côté d'une indispensable et essentielle culture des solutions constructives, une capacité à passer de la solution réelle ou de sa représentation, à un modèle auquel on peut associer des lois et des principes qui régissent son comportement.

A cet effet, le chapitre C1 précise les savoirs et savoir-faire fondamentaux relatifs aux modèles, aux comportements mécaniques et aux comportements énergétiques pour constituer, en association avec les solutions constructives correspondantes, les bases des Sciences de l'Ingénieur.

### *Le comportement mécanique*

Le contenu du programme relatif au comportement mécanique s'appuie majoritairement sur le concept de solide (statique, cinématique, dynamique). Une nécessaire sensibilisation à la déformation des matériaux est introduite afin d'aider l'élève à comprendre certains phénomènes observés liés à la réalité du comportement des structures (déformations, vibrations) et le sensibiliser aux modèles de comportement plus élaborés qu'il abordera lors de sa poursuite d'études.

L'outil torseur n'est pas inscrit au programme. Afin de construire chez l'élève le sens mécanique du passage d'un représentant local à un représentant global, la modélisation des actions mécaniques doit se faire progressivement, à partir d'hypothèses simplificatrices sur la nature et le comportement des contacts suivant chacune des directions du repère choisi. Cela doit conduire au modèle global de résultante générale et de moment résultant en un point précis pour lesquels la représentation par deux vecteurs colonnes peut être utilisée. Le concept de torseur est ainsi approché sans masquer la réalité des contacts entre solides. Les résolutions de problèmes de statique se limitent à des méthodes graphiques pour les solides soumis à deux ou trois forces et à une méthode analytique dans le cas de forces parallèles. Cela afin de renforcer la réflexion de l'élève sur l'interprétation des résultats. Les cas plus complexes pour la détermination des actions mécaniques se font de manière logicielle ce qui, en particulier, n'exige plus chez l'élève l'acquisition du concept abstrait de changement de centre de moment qui sera abordé dans d'autres niveaux de formation, à partir des bases mécaniques construites ici.

### *Le comportement énergétique*

L'approche du comportement énergétique, définie dans le chapitre C12, propose une introduction aux notions de chaîne directe et de chaîne inverse de l'énergie. Plusieurs exemples pertinents accessibles aux élèves peuvent illustrer ces concepts tels que : la réversibilité d'un système

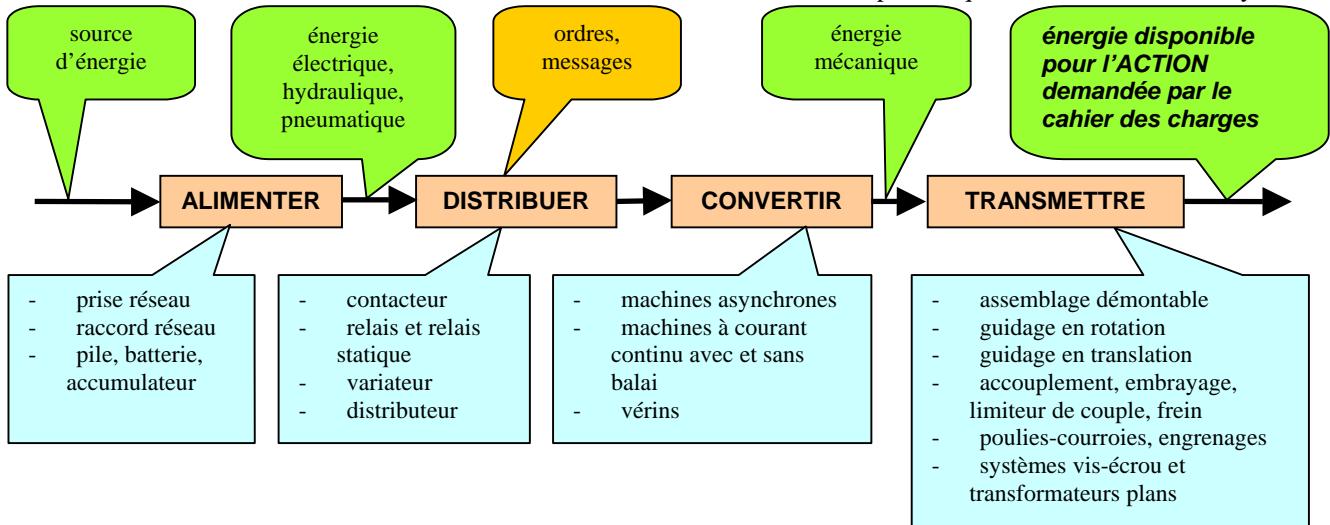


Figure 5 : Constituants faisant l'objet d'une étude concrète.

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

### *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.

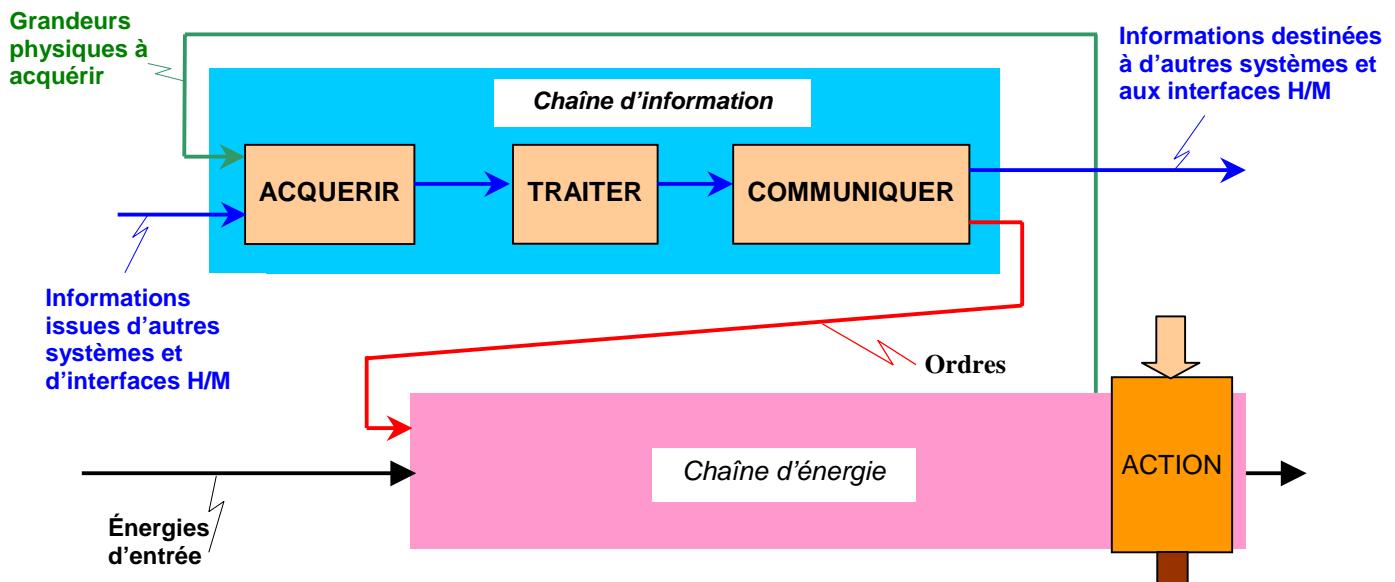


Figure 6 : Chaîne d'information dans la structure fonctionnelle générale d'un système pluritechnique.

### 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'études des solutions constructives associées et de leur comportement.

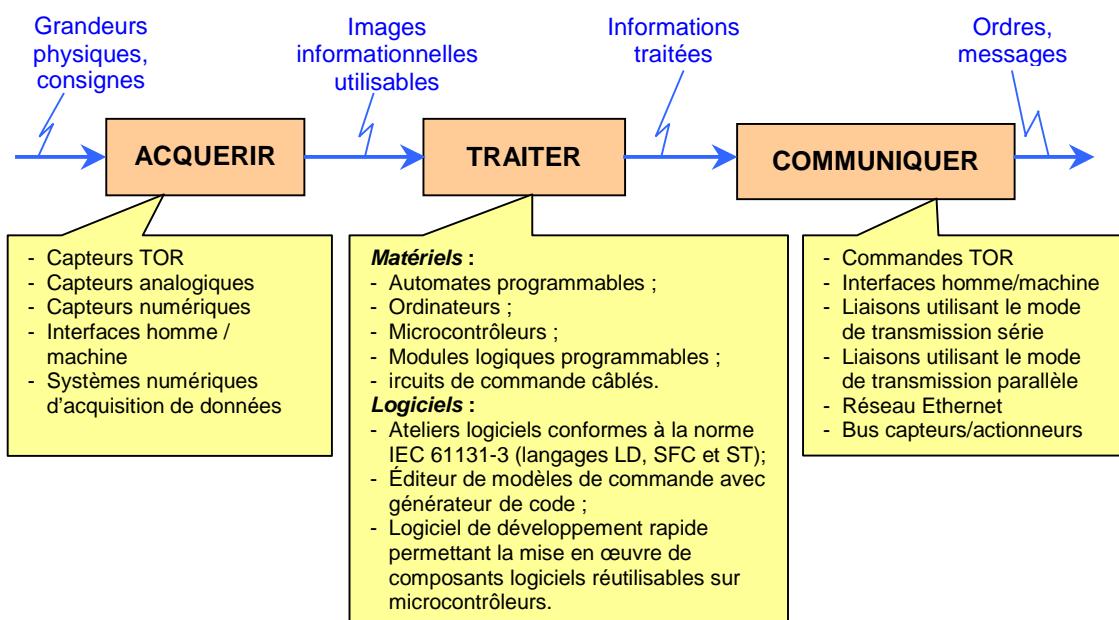


Figure 7 : Fonctions génériques de la chaîne d'information et solutions constructives.

## 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.

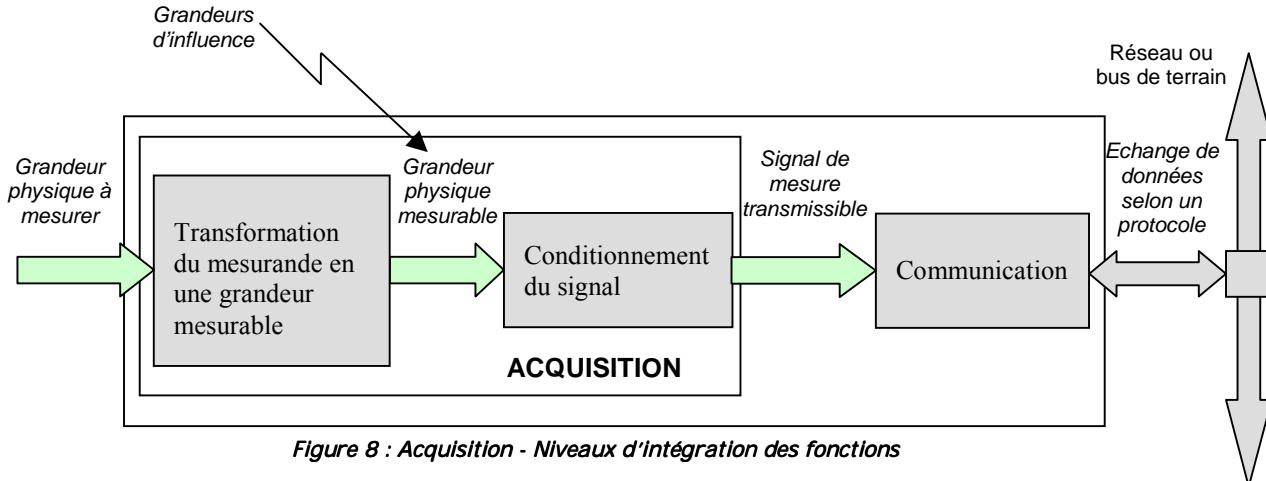
Quel que soit le niveau d'intégration, on se limitera essentiellement en SI à une caractérisation des entrées/sorties (par la mesure ou à l'aide d'une documentation technique) de chacun des éléments constitutifs de la partie acquisition. Les principes les plus courants de transformation d'un mesurande 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



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 :

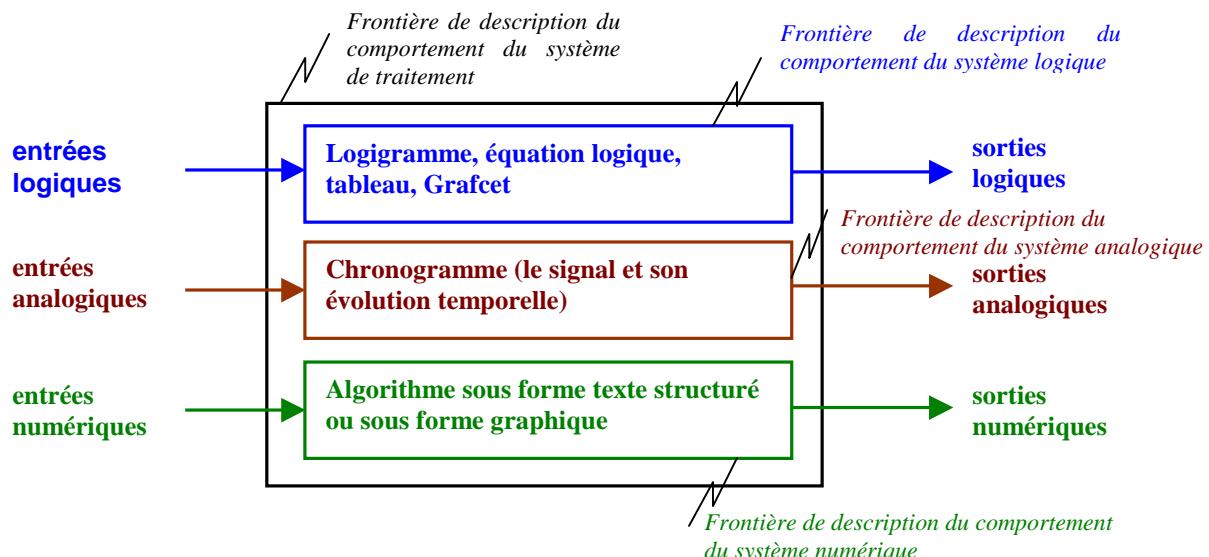
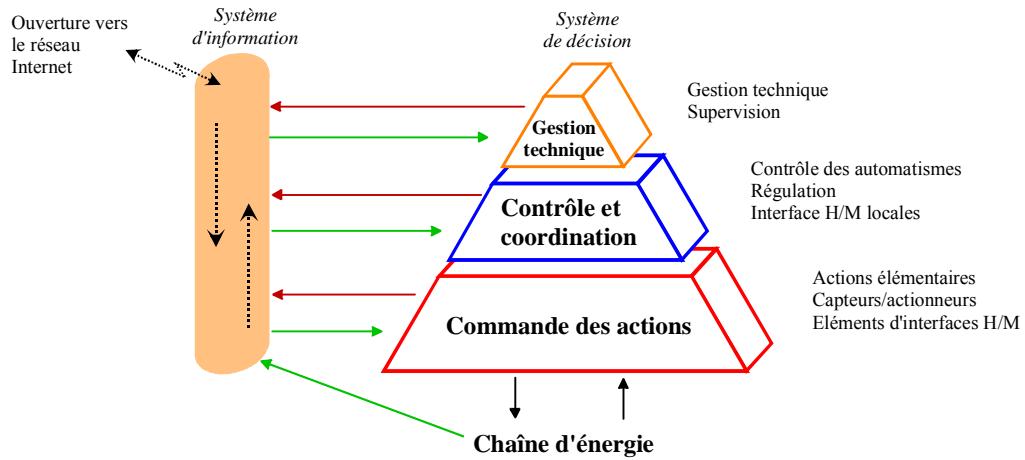


Figure 9 : Adéquation du modèle de comportement utilisé en SI avec la nature des entrées-sorties



**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.

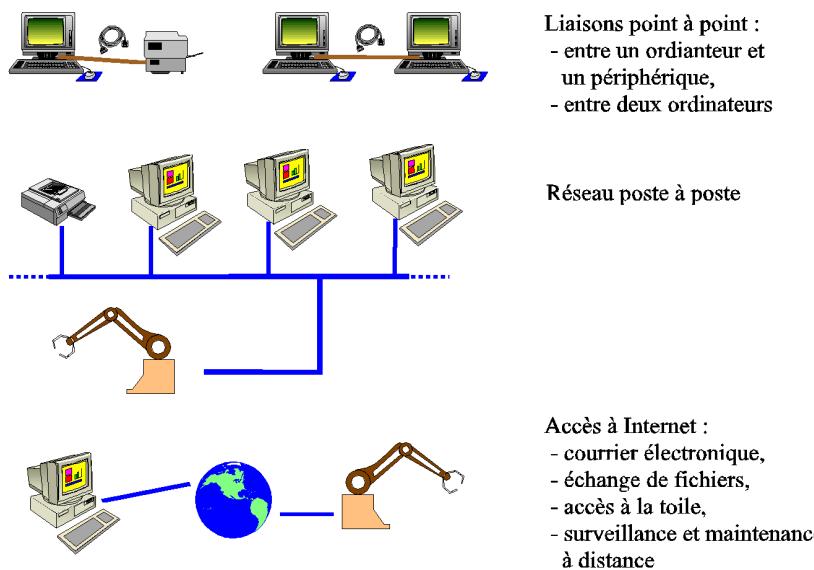
L'étude des réseaux est conduite essentiellement sous forme de travaux pratiques selon un point de vue utilisateur, car une approche théorique des réseaux s'avère rapidement très conceptuelle et difficile. Le concept de couches développé dans le modèle de référence OSI (Open Systems Interconnection) 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**

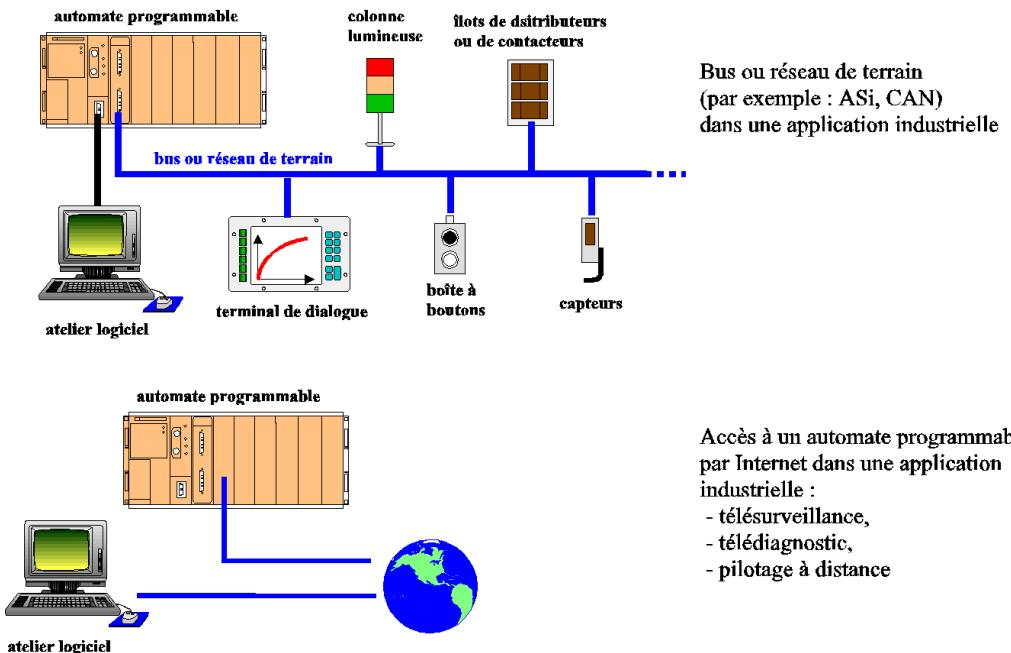


Figure 12 : Exemples d'architectures issues du monde industriel.

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.

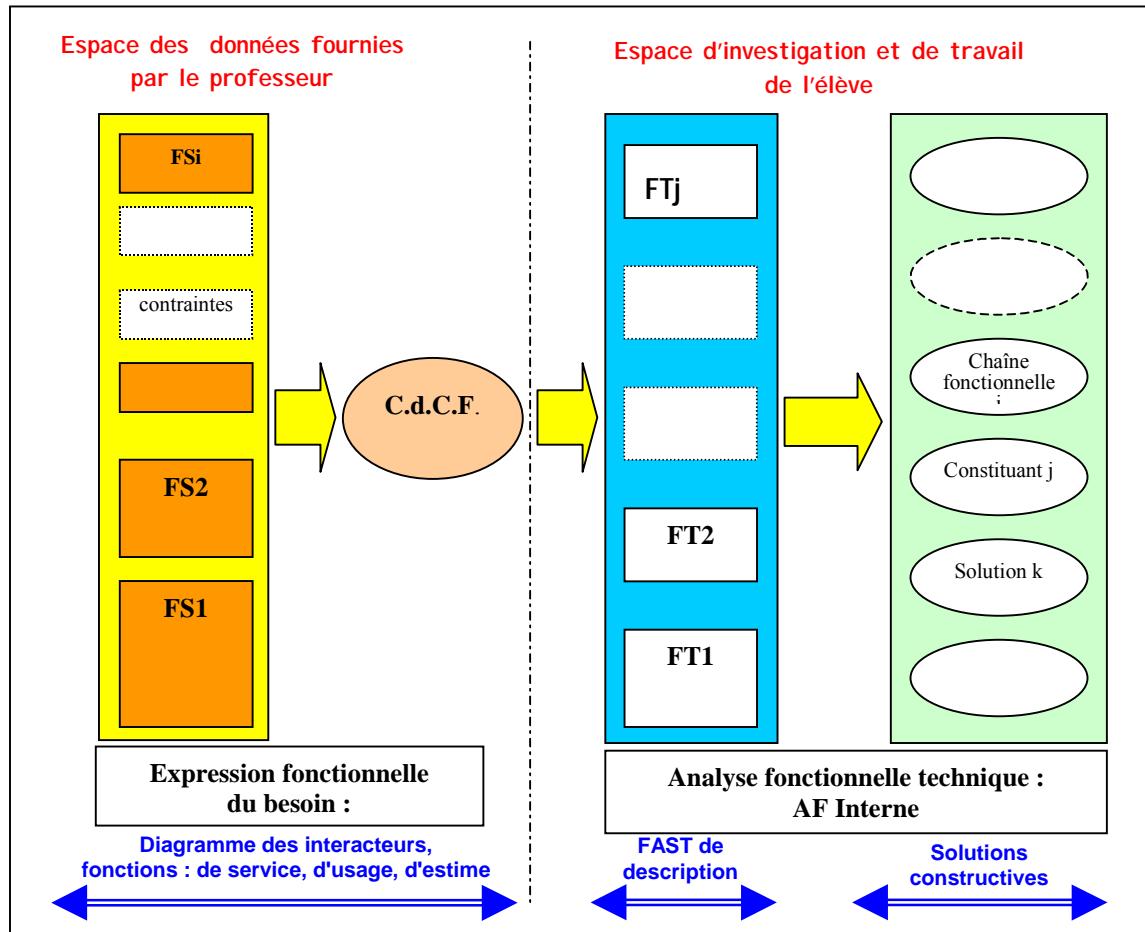


Figure 13 : Limite d'action des élèves.

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 concourante 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'encyclopedisme, 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 avantageusement 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.

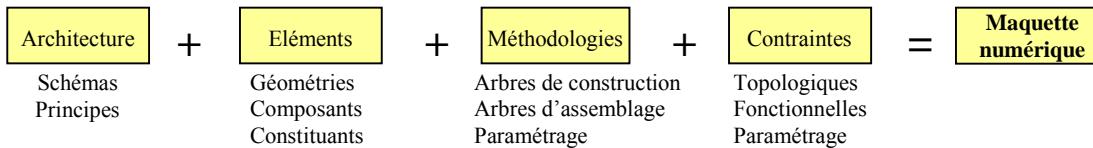
Ce type de logiciel permet :

- 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 les 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.

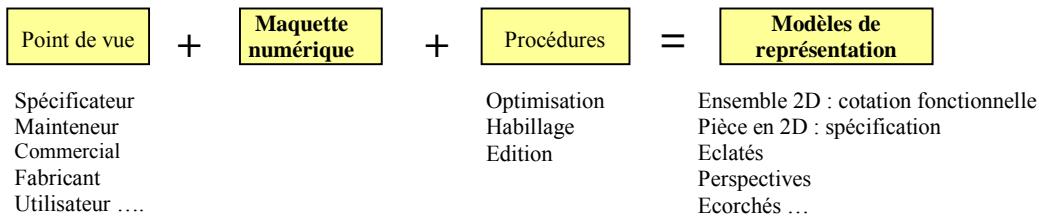


Figure 14 : Logiques d'activités

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 étayé 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.