

# 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.
<b>CI.2 : Représentation et schématisation</b>		
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 : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ extraire des pièces ou sous-ensembles en fonction d'un besoin spécifique ;</li> <li>○ rechercher des limitations de fonctionnement ;</li> <li>○ expliquer le fonctionnement d'un système.</li> </ul>
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 : Grafctet	La description de comportements séquentiels par l'outil Grafctet. 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

Si l'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 le 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 appréhender 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 mélanger 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 inexistantes, 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.

**Les systèmes sans adaptation particulière :** il s'agit alors de systèmes simples, accessibles, non dangereux, qui fonctionnent manuellement (pas d'énergies dangereuses ou à très basse énergie et à dynamique lente), dont on peut mesurer les performances très simplement à l'aide d'instruments classiques portables (ampèremètre, voltmètre, oscilloscope, dynamomètre, tachymètre, règle graduée, comparateur, manomètre...).

Ces supports sont intéressants car ils sont en général peu coûteux et peuvent participer activement au développement de la culture technique des élèves en :

- permettant d'augmenter le nombre de systèmes découverts et étudiés sur un cycle de formation ;
- illustrant simplement des solutions constructives industrialisées et compétitives, par le montage et le démontage si cela est possible, l'identification des composants ;
- facilitant la découverte concrète de base sur les matériaux, les composants, les procédés... par le toucher, la manipulation directe ;
- privilégiant les activités laissant une large initiative aux élèves, exigeant des manipulations de mesures simples mais indispensables.

Parfois, cette configuration vient en complément du même système instrumenté plus important, qui, pour des raisons de sécurité, n'autorise pas un accès direct au produit en situation.

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

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

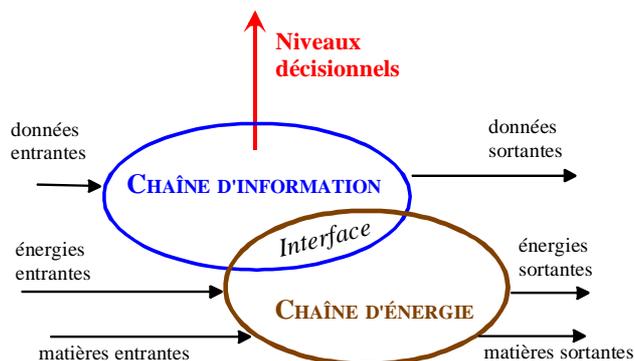


Figure 1 : Modèle général d'un système pluritechnique.

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.

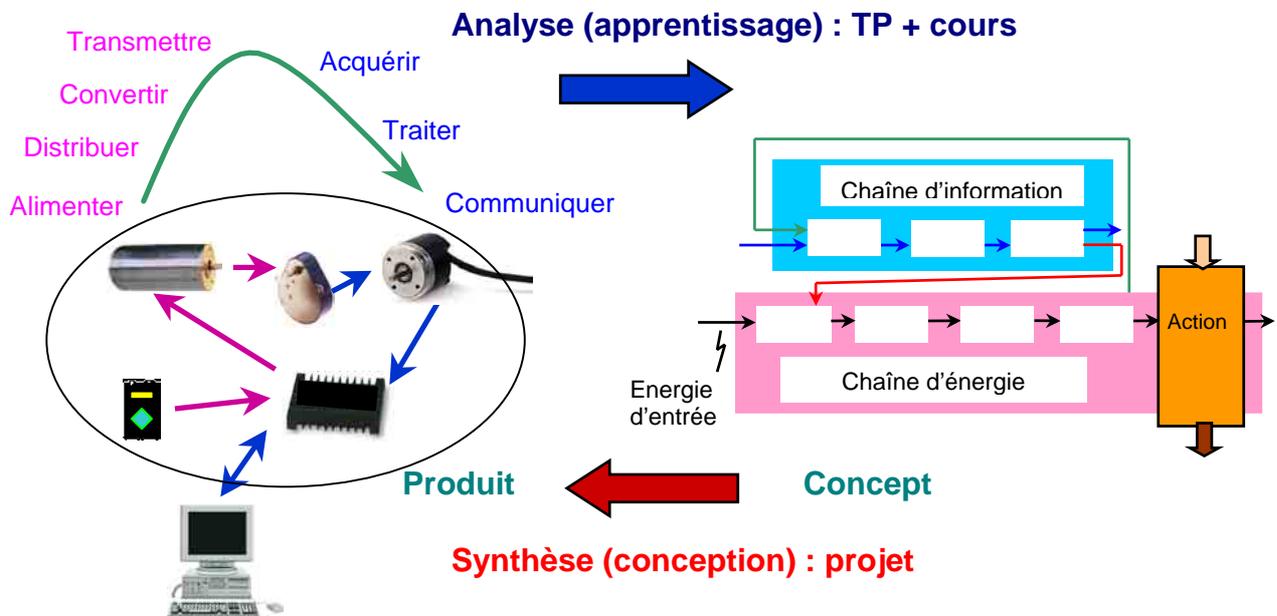


Figure 2 : L'approche par fonctions dans les démarches d'analyse et de synthèse

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'explicitier 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

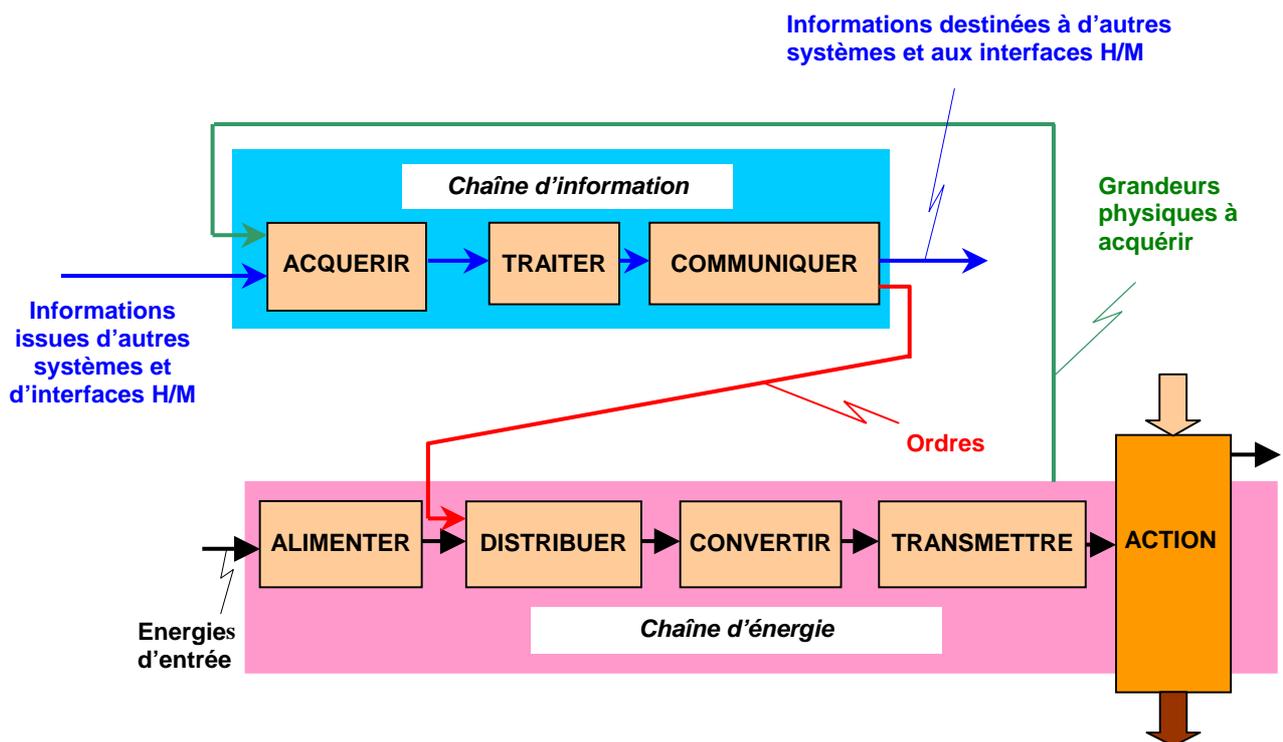


Figure 3 : Les fonctions génériques présentes dans les chaînes d'énergie et d'information d'un système pluritechnique.

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 concernant 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 noter 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 intégrera 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

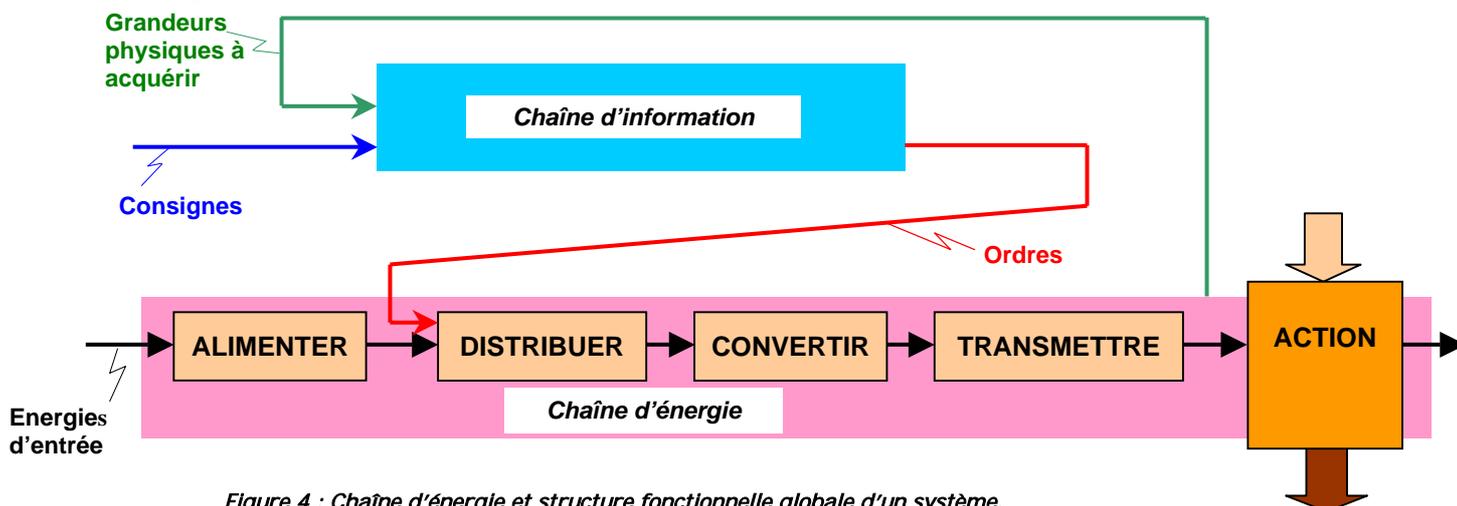


Figure 4 : Chaîne d'énergie et structure fonctionnelle globale d'un système.

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 coté 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.

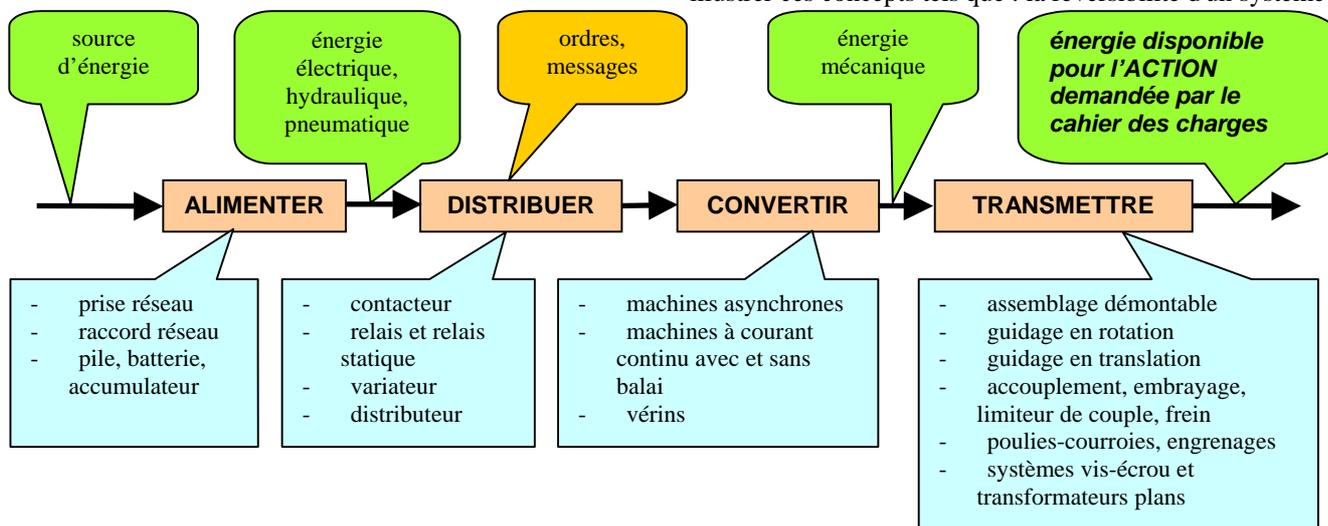


Figure 5 : Constituants faisant l'objet d'une étude concrète.

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