

L'enseignement des sciences de l'ingénieur dans la série S

NORBERT PERROT [1]

La réforme du lycée a conduit à une évolution de la série scientifique, et par voie de conséquence de l'enseignement de sciences de l'ingénieur, et ce d'autant plus qu'il fallait distinguer le baccalauréat S du baccalauréat STI2D. L'IGEN de STI trace ici les lignes de force qui doivent structurer cet enseignement et sa mise en place dans les établissements.

La série S affirme sa vocation scientifique et conceptuelle, le programme de sciences de l'ingénieur a été élaboré dans ce sens. Tout doit concourir à donner aux élèves de cette série le goût pour la poursuite d'études supérieures scientifiques et technologiques longues.

Les sciences de l'ingénieur

« Notre société devra relever de nombreux défis dans les prochaines décennies. Les démographes annoncent une forte croissance de la population mondiale, répartie inégalement sur les territoires. Il faudra donc proposer des réponses aux besoins fondamentaux des hommes, tels que l'accès à l'eau, à l'énergie, à l'alimentation, à l'habitat, au transport, à la santé, à l'éducation ou à l'information.

» Pour satisfaire ces besoins, la recherche de solutions devra se faire dans un contexte environnemental contraint, au sein d'une concurrence économique internationale et avec la nécessité d'assurer un développement durable pour tous.

» La réponse à ces défis passe inévitablement par la formation d'ingénieurs et de chercheurs aux compétences scientifiques et technologiques pluridisciplinaires de haut niveau, capables d'innover, de prévoir et de maîtriser les performances des systèmes complexes, en intégrant les grandes questions sociétales et environnementales. »

(BOEN spécial n° 9 du 30 septembre 2010)

L'enseignement de sciences de l'ingénieur participe grandement à l'acquisition d'un socle de compétences, scientifiques et technologiques, pluridisciplinaires, fa-

mots-clés

prébac, référentiel & programme

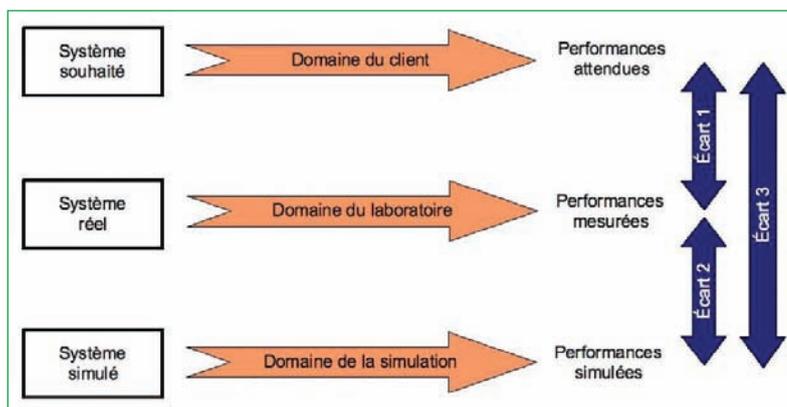
vorisant les poursuites d'études dans l'enseignement supérieur. Toutes les composantes des sciences avec les démarches associées, placées dans le contexte de la conception et de la réalisation d'objets techniques répondant aux besoins de l'homme, font partie des sciences de l'ingénieur. Les sciences de l'ingénieur ne sont pas une application des sciences, elles se distinguent des sciences appliquées par leurs démarches spécifiques, nécessaires à l'analyse et à la conception des systèmes pluritechnologiques complexes.

Les SI dans le cycle terminal du lycée

La formation de ces ingénieurs et chercheurs demande du temps, elle peut et devrait même commencer, pour tous les élèves, dès le cycle terminal du lycée. L'enseignement des sciences de l'ingénieur, dans la série S, a pour objectif d'aborder la démarche de l'ingénieur qui permet, en particulier :

- de vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et les réponses expérimentales (figure 1, écart 1) ;

- de proposer et de valider des modèles d'un système à partir d'essais, par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées (figure 1, écart 2) ;



1 Les 3 écarts : performances attendues - performances mesurées ; performances mesurées - performances simulées ; performances attendues - performances simulées

[1] Doyen du groupe STI de l'IGEN.

- de prévoir les performances d'un système à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues au cahier des charges (figure 1, écart 3) ;
- de proposer des architectures de solutions, sous forme de schémas ou d'algorithmes.

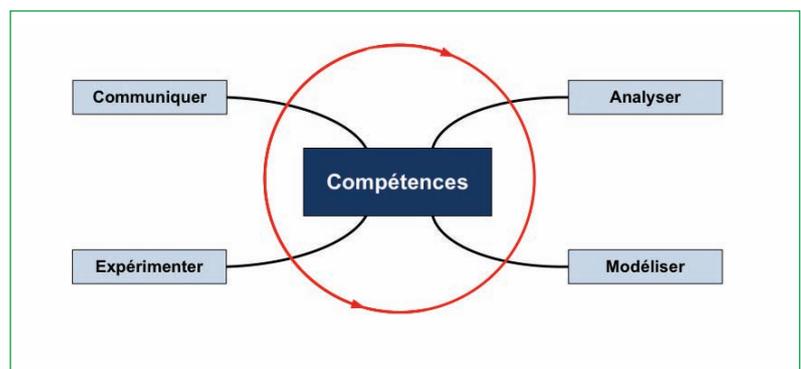
Les sciences de l'ingénieur possèdent de nombreuses vertus. En effet, l'identification et l'analyse de ces écarts mobilisent des compétences pluridisciplinaires, en particulier celles développées en mathématiques et en physique-chimie ; elles développent des démarches permettant d'analyser des systèmes complexes pluritechnologiques. Les compétences acquises sont transposables à l'ensemble des domaines scientifiques et technologiques, et permettent ainsi d'appréhender avec rigueur des situations inédites.

Les objectifs généraux du programme de SI en série S

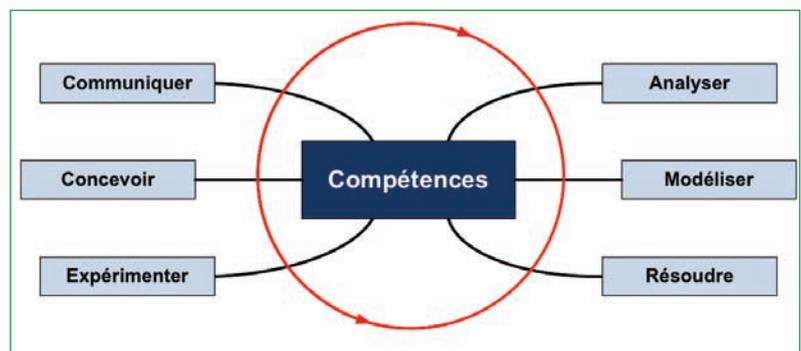
À partir de systèmes industriels placés dans leur environnement technico-économique, la figure 2 présente l'organisation générale du programme, déclinée en compétences associées à des connaissances et savoir-faire. Cette figure montre que le programme de sciences de l'ingénieur s'insère parfaitement dans le continuum de l'enseignement de notre discipline de la sixième à bac + 2. Les figures 3 et 4 présentent respectivement l'organisation générale des nouveaux programmes de sciences industrielles de l'ingénieur des filières PCSI-PSI et PTSI-PT des classes préparatoires aux grandes écoles.

L'acquisition de la démarche de l'ingénieur ne peut se faire efficacement que sur des systèmes pluritechnologiques complexes. *La dichotomie génie électrique - génie mécanique, qui a trop prévalu jusqu'à maintenant, doit disparaître au profit d'une approche systémique et multiphysique, mieux adaptée pour aborder les différents domaines de l'ingénierie, y compris ceux des bâtiments et des ouvrages.*

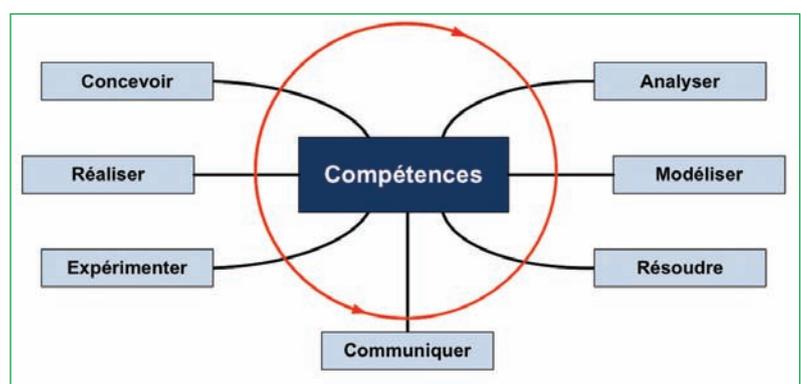
Ce programme a donc pris en compte les progrès accomplis autour de la modélisation et de la simulation. Modélisation multiphysique, causale ou acausale, et simulation sont au cœur de la démarche R&D.



2 Le programme de SI



3 Le programme de PCSI-PSI



4 Le programme de PTSI-PT

Les compétences requises pour modéliser un système pluritechnologique ont donc une place essentielle dans les programmes de sciences de l'ingénieur, et en particulier dans celui de la série S.

Ce programme de sciences de l'ingénieur a été conçu pour favoriser une approche pluridisciplinaire qu'il est souhaitable de mettre en œuvre en toute occasion, au-delà du TPE et du projet interdisciplinaire. Le professeur de sciences de l'ingénieur devra organiser sa progression pédagogique en relation avec ses collègues de mathématiques et de physique-chimie. Cette progression doit s'appuyer sur des activités expérimentales. *Les activités expérimentales ne sont pas une finalité, mais constituent une modalité pédagogique particulière, qui est utilisée ou non, selon les séquences, en fonction des objectifs pédagogiques définis par le professeur de sciences de l'ingénieur.*

Ce programme est décliné dans le *BOEN* spécial n°9 du 30 septembre 2010 (voir l'encadré « En ligne »). L'organisation, présentée à la figure 2, s'appuie sur l'intrication des champs matériaux, énergie et information. Les compétences développées permettent de mettre en évidence et d'analyser les écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées 1, et de déterminer éventuellement les solutions pour les réduire.

La progression pédagogique

La progression pédagogique doit être élaborée à partir d'objectifs pédagogiques choisis par le professeur de sciences de l'ingénieur. Chaque objectif permet de faire acquérir une ou plusieurs compétences, avec les connaissances associées, déclinées dans le programme. Bien évidemment, la progression pédagogique ne doit pas être calée sur l'ordre d'écriture du programme, ce qui n'aurait aucun sens.

Chaque objectif pédagogique doit être atteint au terme d'une séquence de plusieurs séances, en mobilisant les différentes modalités pédagogiques que sont le cours, les activités dirigées, les activités de simulation, les activités expérimentales, les études de dossiers, les mini-projets. Chaque séquence s'appuie sur un ou plusieurs systèmes. Cependant, l'acquisition des compétences n'est pas liée à la spécificité des systèmes proposés.

Il est souhaitable de favoriser une vision systémique plutôt qu'une étude analytique ; prendre les différentes parties du programme comme objectifs pédagogiques ne serait pas judicieux. Chaque séquence doit s'appuyer sur des compétences issues de plusieurs parties du programme. Le cercle rouge de la figure 2 matérialise ce concept.

L'organisation annuelle de l'emploi du temps des élèves, selon les modalités de cours, d'activités

dirigées ou expérimentales, devrait être pensée en termes de pertinence au regard des objectifs visés et des difficultés conceptuelles traitées.

TPE et projet interdisciplinaire

Les sciences de l'ingénieur renforcent les liens entre les disciplines et participent à la poursuite d'études dans l'enseignement supérieur.

En classe de 1^{re}, les travaux personnels encadrés sont intégrés dans l'horaire de sciences de l'ingénieur. Le principe de base étant la pluridisciplinarité, deux disciplines au moins doivent être impliquées : la discipline caractéristique de la série ainsi que, par exemple, les mathématiques, la physique-chimie ou encore les sciences de la vie et de la Terre.

En classe terminale, un projet interdisciplinaire est mis en place dans un volume horaire d'environ 70 heures, également en collaboration avec les disciplines scientifiques ou encore les disciplines de l'enseignement commun.

Les activités de TPE et de projet sollicitent des démarches de créativité pour imaginer des solutions qui répondent à un besoin. *La richesse de ces activités est intimement liée à la pluridisciplinarité suscitée. Imaginer des solutions relève d'un travail d'équipe.*

Les projets peuvent prendre différentes formes, mais ils doivent s'appuyer sur la modélisation, puisque toute conception passe aujourd'hui par la maîtrise des modèles numériques. Le projet ne doit pas se limiter à la conception et à la réalisation de produits, il peut consister en une itération entre expérimenter et modéliser jusqu'à ce que le modèle soit ajusté au comportement réel, et que ses limites soient identifiées, de façon à pouvoir l'exploiter sur d'autres cas d'application.

Inciter les élèves à choisir l'enseignement des sciences de l'ingénieur dans la série S, malgré l'horaire élevé, est un challenge qu'il faut relever. Cette envie devrait être générée par ces projets encadrés par des équipes de professeurs de disciplines différentes. C'est le pari qui a été fait. Dans cet esprit, il faut combattre toutes les tentations qui consistent à confier l'encadrement uniquement à des professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur.

Tout projet qui ne présenterait pas un caractère pluridisciplinaire, tant sur le fond que dans son encadrement, ne doit pas être validé par les IA-IPR en charge du suivi des sciences de l'ingénieur.

Le laboratoire de SI

La publication du précédent programme au *BOEN* spécial n° 3 du 30 août 2001 a souvent conduit à la mise en place de deux laboratoires, l'un de génie mécanique et l'autre de génie électrique, contrairement aux instructions officielles. *Cette situation, lorsqu'elle est encore d'actualité, doit cesser impéra-*

tivement et immédiatement pour conduire à un unique laboratoire de sciences de l'ingénieur. Son aménagement doit pourvoir facilement aux besoins de toutes les activités pédagogiques engendrées par l'enseignement de sciences de l'ingénieur, et en particulier permettre des activités expérimentales et de simulation multiphysique.

Les compétences à atteindre nécessitent un travail en groupes d'élèves, donc une organisation du laboratoire en îlots. *Mais cette organisation n'est pas seulement structurelle, elle est surtout pédagogique.* Les îlots permettent aux élèves de travailler individuellement ou par équipes, d'avoir accès aux systèmes et aux outils informatiques dans chaque activité, et à l'enseignant d'intervenir face à tous les élèves, par exemple lors des phases d'activation et de restitution. Il convient d'équiper chaque îlot :

- d'un support d'enseignement (système réel instrumenté ou non, système didactisé, maquette réelle ou virtuelle) ;

- de plusieurs postes informatiques, dont les performances permettent d'exécuter simultanément plusieurs logiciels d'ingénierie (simulation, modélisation) ou de bureautique, et de communiquer avec les systèmes pour le pilotage ou l'acquisition de grandeurs physiques ;

- d'une gamme d'appareils de mesure ou de matériel d'acquisition de données.

Les supports d'enseignement choisis pour éveiller la curiosité des élèves doivent répondre à un besoin et être innovants. Ils permettent d'aborder des thèmes tels que la mobilité, le sport, la santé, l'habitat, les équipements publics, l'énergie, la communication, la culture et les loisirs, la bionique, la dématérialisation des biens et des services.

Il est recommandé de choisir des supports d'enseignement dans le champ des matériels grand public et de l'environnement des élèves. Pour la plupart des supports présents dans le laboratoire, le coût unitaire doit être compatible avec des achats multiples et permettre des renouvellements fréquents, afin de suivre les évolutions technologiques.

Les supports d'enseignement retenus doivent permettre la caractérisation des trois écarts mis en évidence sur la figure 1 ainsi qu'une approche pluritechnologique externe.

La dotation horaire

Toute réforme résulte d'un compromis ; la dernière réforme du lycée n'échappe pas à cette règle. Ainsi, compte tenu de la forte évolution engendrée par l'instauration des STI2D, le choix a été fait de ne pas revenir sur l'horaire hebdomadaire de 8 heures de sciences de l'ingénieur dans la série S. Celui-ci reste trop important. Comment expliquer en effet que 4 à 6 heures soient suffisantes pour les mathématiques, la physique-chimie et les sciences de la vie et de la

Terre et qu'il faille 8 heures en sciences de l'ingénieur ? *Sommes-nous moins efficaces ? Lors d'une prochaine réforme, il faudra très certainement reconsidérer cet horaire.*

Le projet interdisciplinaire en terminale a pour objectif de gommer ce qui constitue un frein pour les orientations en S-SI. En effet, 6 heures d'enseignement doivent être consacrées au programme de sciences de l'ingénieur, aussi bien en première qu'en terminale. Elles peuvent être équitablement réparties entre cours, TP et TD, ces derniers comportant des activités de simulation. Mais cette répartition n'est qu'une option ; ce temps peut être aménagé différemment, dans le cadre de l'autonomie des établissements.

La septième heure en première est consacrée au TPE. Le principe de base pour le TPE étant la pluridisciplinarité, deux disciplines au moins doivent être impliquées : les sciences de l'ingénieur ainsi que, par exemple, les mathématiques, la physique-chimie ou encore les sciences de la vie et de la Terre.

Soixante-dix heures en terminale sont consacrées au projet interdisciplinaire en collaboration avec les disciplines scientifiques ou encore les disciplines de l'enseignement commun.

L'évaluation

Le caractère scientifique de ce baccalauréat a conduit à proposer une épreuve écrite nationale de 4 heures qui compte pour trois quarts dans l'évaluation, le quart restant étant attribué à celle du projet interdisciplinaire.

L'épreuve écrite a un poids significatif, et elle ne saurait être élaborée dans un autre esprit que celui du programme. S'appuyant sur un support authentique – bien de consommation, bien d'équipement – représentatif des technologies actuelles, et issu de tous les domaines de l'ingénierie, elle sera élaborée à partir de problèmes techniques réels clairement identifiés, et non inventés pour les besoins de l'épreuve.

En s'appuyant sur l'intrication des champs matériau, énergie et information, l'épreuve écrite permet de :

- mettre en évidence des écarts entre le souhaité, le simulé et le réel, et de proposer éventuellement des solutions pour les réduire 1 ;

- mobiliser des compétences telles que modéliser, analyser, exploiter et synthétiser ;

- lire, interpréter et utiliser un modèle de simulation multiphysique.

L'approche disciplinaire, basée sur la restitution de connaissances, est proscrite.

Compte tenu de ces considérations, liées à la structuration du sujet, et pour permettre au correcteur d'avoir une vision globale et non erronée de la démarche réflexive menée par un candidat, *l'évaluation d'une copie de baccalauréat ne peut pas être disséquée en sous-parties confiées à plusieurs correcteurs.*

Les activités pratiques, qui sont des modalités pédagogiques et non des finalités, ne seront pas évaluées au baccalauréat. Mais elles sont indispensables pour développer les compétences déclinées dans le programme.

L'évaluation du projet, au cours de son déroulement et lors d'une soutenance, est plus classique. Elle est menée par deux enseignants, dont au moins un de sciences de l'ingénieur, ce qui veut dire qu'il n'est pas souhaitable de constituer des commissions avec deux enseignants de sciences de l'ingénieur, compte tenu de la définition du projet dans le BOEN spécial n° 9.

Les ressources humaines

Le programme de sciences de l'ingénieur, publié au BOEN spécial n° 9, forme un ensemble cohérent qui ne peut être morcelé. Il faut rompre avec des habitudes prises par le passé de découper le programme en plusieurs parties confiées à des spécialistes. *Comment demander aux élèves, dans une même discipline, ce que leurs professeurs ne pourraient pas faire ? Par conséquent, le programme doit être dispensé par un seul enseignant.* Ne pas appliquer ce principe va à l'encontre de la promotion de cet enseignement dans le cycle terminal du lycée.

Le prétexte de la formation initiale des enseignants, souvent mis en avant, est pour le moins fallacieux. Déjà en 2001, une coordination pédagogique étroite et permanente était demandée, lorsque le programme était assuré par deux enseignants. La dichotomie qui a été mise en place dans les classes a peut-être, même si ce n'est pas la seule raison, nui au déploiement de l'enseignement de sciences de l'ingénieur dans tous les lycées.

La formation initiale des enseignants, de haut niveau scientifique et technologique, doit leur permettre d'ouvrir leur spectre de compétences disciplinaires à l'ensemble des contenus de l'enseignement des sciences de l'ingénieur. Cette démarche d'élargissement nécessaire peut s'enrichir des participations aux actions de formation proposées dans les académies.

L'implantation de l'enseignement des SI dans les lycées

Soixante pour cent des bacheliers S-SVT poursuivaient des études scientifiques supérieures à la fin des années 90, ils sont maintenant moins de 40 %. Mais, parallèlement, ce sont de 90 à 95 %, selon les années, de bacheliers S-SI qui poursuivent des études scientifiques supérieures. Comme le défi national est d'inciter plus de jeunes à poursuivre des études scientifiques et technologiques longues, il est primordial de développer l'enseignement de sciences de l'ingénieur dans la série S en le proposant dans tous les lycées.

Le coût d'implantation d'un laboratoire n'est plus un obstacle, dans la mesure où les équipements souhaités sont « plus légers » et moins onéreux que ceux préconisés dans le précédent guide d'équipement. « Il est plus difficile de détruire un préjugé qu'un atome », a dit Albert Einstein. Cela se vérifie pour l'enseignement de sciences de l'ingénieur dans la série S, et *malheureusement les préjugés sont souvent portés par des professeurs de sciences de l'ingénieur, des chefs de travaux et des chefs d'établissement qui souhaitent s'approprier cet enseignement et non faciliter sa diffusion.* L'évolution des mentalités est longue, trop longue. *Il est indispensable que tous les acteurs œuvrent en bonne synergie pour promouvoir l'enseignement de sciences de l'ingénieur, dans le cadre du défi national cité plus haut.*

Conclusion

Au moment où le groupe « sciences et techniques industrielles » de l'inspection générale de l'Éducation nationale vient de mettre en place un continuum de l'enseignement de la technologie et des sciences de l'ingénieur de la sixième à bac + 2, ce programme de sciences de l'ingénieur de la série S, avec celui de la série STI2D, doit être le « barycentre » de ce continuum.

Les équipes pédagogiques doivent s'imprégner immédiatement des objectifs et des finalités de l'enseignement de sciences de l'ingénieur dans la série S, dans une vision globale allant du collège aux CPGE en passant par les programmes des enseignements d'exploration. *L'à-peu-près ne peut être toléré. Aucun temps d'adaptation ne se justifie.*

Pour mener à bien ce chantier, il ne faut pas tomber dans la facilité, mais s'y consacrer avec volontarisme. Heureusement, nous pouvons compter sur des équipes pédagogiques qui se sont engagées avec dynamisme dans ces évolutions. ■

En ligne

Le programme de sciences de l'ingénieur (BOEN spécial n° 9 du 30 septembre 2010) :

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/special_9/21/7/sciences-ingenieur_155217.pdf

Le document ressource pour faire la classe :

http://media.eduscol.education.fr/file/SI/14/7/LyceegT_Ressources_SI_T_serieS_182147.pdf

Le guide d'équipement :

http://cache.media.eduscol.education.fr/file/SI/87/2/Guide_d_equipement_SI_mars_12_210872.pdf

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>