

Les sciences de l'ingénieur sont-elles une science ?

La réforme du lycée général et technologique, qui sera mise en place à la rentrée 2019, a révélé que la discipline sciences de l'ingénieur n'est pas considérée comme une science. En effet, la communication des promoteurs de cette réforme n'a jamais intégré les sciences de l'ingénieur, comme un enseignement scientifique à part entière, dans les sciences qui seront enseignées au lycée général et technologique.

Avant de répondre à la question « Les sciences de l'ingénieur sont-elles une science ? », il importe de préciser ce qu'est une science.

1. Qu'est-ce qu'une science ?

De nombreux savants et philosophes se sont exprimés et ont proposé des réponses à cette question complexe. Les réponses formulées sont souvent tout aussi complexes, mais globalement une science est caractérisée par :

- un corpus de concepts et de connaissances ;
- une (des) démarche(s) ;
- une évolution au cours du temps, souvent faite de ruptures.

Les sciences peuvent être fondamentales, humaines, sociales... Parmi les sciences fondamentales, des classifications sont proposées : sciences formelles, sciences empiriques, sciences appliquées...

Les sciences fondamentales ont pour finalité de produire des corpus de concepts et de connaissances relatifs à notre environnement qu'il soit naturel ou artificiel... ; les sciences appliquées, quant à elles, s'appuient sur ces corpus de concepts et de connaissances pour résoudre des problèmes concrets selon l'approche de l'ingénierie. Cette approche ne peut se résumer à une unique dimension technologique, elle possède aussi et surtout aussi et surtout une dimension théorique.

Les frontières entre sciences fondamentales et sciences appliquées sont poreuses. Par exemple, la physique peut être fondamentale ou appliquée selon le contexte. Il en est de même pour les mathématiques, mais les mathématiques appliquées sont au service d'autres sciences ou technologies.

Corpus de concepts et de connaissances

Le corpus de concepts et de connaissances qui caractérise une science doit être avéré et vérifié, il ne peut pas être qu'un dogme ou une croyance. Par exemple, Copernic ne s'est pas contenté d'affirmer que le Soleil tourne autour de la Terre. En voulant le vérifier par le calcul, il a constaté que c'était l'inverse. Puis Galilée, un siècle plus tard, l'a prouvé expérimentalement grâce à son fameux télescope.

Construire un corpus de concepts et de connaissances nécessite un raisonnement rationnel, des démonstrations, des observations et des vérifications grâce à des expérimentations et impose des exigences qui peuvent être résumées par la citation suivante : « *Pour un esprit scientifique, toute connaissance est réponse à une question. S'il n'y a pas de question il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. Avant tout il faut savoir poser des problèmes. Et*

quoi qu'on dise, dans la vie scientifique les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui porte la marque d'un véritable esprit scientifique » (Gaston Bachelard).

Démarches pour élaborer un corpus de concepts et de connaissances

Les différents corpus de concepts et de connaissances rattachés à une science ne sont pas tous élaborés de la même manière. La démarche hypothético-déductive est toujours plus ou moins présente. Elle s'appuie sur des hypothèses qu'il est nécessaire de confronter au réel par des raisonnements, des observations, des expérimentations et par des comparaisons, qui sont le fondement de la démonstration scientifique. Cette « confrontation » au réel implique la mise au point de constructions artificielles (instruments de mesure, maquettes, supports expérimentaux...), autrement dit une « ingénierie » au cœur même de la théorie.

La démarche peut aussi être purement déductive, ou inductive pour des domaines plus concrets qui s'appuient également sur des résultats expérimentaux.

Évolution de la science

Un corpus de concepts et de connaissances est contrôlable par la communauté scientifique concernée, et il n'est pas définitif. Il évolue en permanence en s'enrichissant de son environnement, des résultats de la recherche qu'elle soit fondamentale ou appliquée.

Les sciences s'adaptent donc en permanence à leur objet d'étude. Elles sont cumulatives et intégratives.

« La science ne renverse pas à mesure ses édifices ; mais elle y ajoute sans cesse de nouveaux étages et, à mesure qu'elle s'élève davantage, elle aperçoit des horizons plus élargis » (Marcelin Berthelot).

2. Qu'est-ce que les sciences de l'ingénieur ?

Les sciences de l'ingénieur permettent la conception des systèmes¹ ou produits conçus par l'Homme et pour l'Homme pour répondre à ses besoins², à partir d'une analyse externe ou d'une analyse interne. Elles dépassent l'étude de phénomènes qui apparaissent ou qui existent dans ces systèmes.

Discipline récente dans le système éducatif français, les sciences de l'ingénieur permettent :

- l'étude des systèmes pluritechnologiques, connectés et communicants ou non, et des solutions qui les constituent (analyse, modélisation, expérimentation, simulation, réalisation, communication) ;
- l'étude des solutions qui réalisent les fonctions (étude fonctionnelle, étude structurelle, étude comportementale).

Un peu d'histoire : de l'objet technique au système pluritechnologique

Un objet technique au sens large, quel qu'il soit, est toujours inventé pour l'Homme et par l'Homme pour répondre à ses besoins. Cet objet technique est créé, par exemple, pour pallier ses insuffisances physiques (lui épargner un effort physique trop important), pour

¹ Un système est un ensemble d'éléments interagissant entre eux selon certains principes ou règles. Un système est déterminé par sa frontière, ses objectifs, ses fonctions, son organisation, ses interactions avec son environnement...

² Le besoin recouvre l'ensemble de tout ce qui « est » ou « apparaît être nécessaire » à un être, que cette nécessité soit consciente ou non. De nombreuses classifications des besoins ont été proposées.

améliorer son confort ou pour effectuer des travaux complexes ou répétitifs, pour assurer une meilleure qualité de vie, etc...

Longtemps, la réalisation d'un objet technique a été assimilée à la mise en œuvre de « règles de l'art » ou de savoir-faire transmis de maîtres en apprentis, et ce, même après la révolution industrielle du 19^e siècle.

Cette façon de concevoir s'est bien entendu répercutée sur l'enseignement. Appelé alors enseignement technique et fondé essentiellement sur l'apprentissage de savoir-faire, il était destiné à donner une formation professionnelle pour les métiers de l'industrie et visait une professionnalisation spécialisée sur le court terme.

D'ailleurs, il y a encore une soixantaine d'années, à la fin du CES (Collège d'Enseignement Secondaire), les élèves pouvaient s'orienter vers une seconde technique qui débouchait vers un cycle de formation tourné vers la réalisation d'objets techniques simples. Certaines Grandes Écoles portent même encore avec fierté des noms de métiers aujourd'hui pratiquement disparus en France : École des Arts et Manufactures, École des Mines par exemple.

Les besoins ayant profondément évolué, les objets techniques sont devenus nécessairement plus sophistiqués et les « règles de l'art » insuffisantes et inadaptées pour leur conception et réalisation. La conception s'est alors progressivement appuyée sur des résultats scientifiques. Mais la faiblesse des moyens de calcul, dont la communauté scientifique disposait il y a encore une soixantaine d'années, suffit à expliquer, voire à excuser, le développement de « techniques d'experts » basées sur l'usage plutôt que de méthodes scientifiques rigoureuses. Puis, avec l'évolution de ces moyens l'enseignement a changé : de technique il est devenu technologique³.

Progressivement, les objets techniques sont devenus de plus en plus complexes et pluritechnologiques, pour devenir de véritables systèmes (par exemple une bicyclette des années cinquante est moins complexe qu'un vélo à assistance électrique, un drone, un smartphone, etc.), et leur finalité a même dépassé l'environnement proche de l'Homme avec par exemple les navettes spatiales. La conception et la réalisation de ces systèmes se sont appuyées sur les évolutions scientifiques.

Ainsi, la mécanique, la thermodynamique, la mécanique des milieux continus, l'énergétique, l'automatique, l'électrotechnique, l'électronique, et l'informatique sont devenues nécessaires et indispensables à la conception et à la réalisation des systèmes pluritechnologiques contemporains. Les sciences de l'ingénieur sont nées.

Mais la juxtaposition de la mécanique, de la thermodynamique, de la mécanique des milieux continus, de l'énergétique, de l'automatique, de l'électrotechnique, de l'électronique et de l'informatique les unes à côté des autres, ne constitue pas les sciences de l'ingénieur.

Au contraire, les sciences de l'ingénieur intègrent toutes ces disciplines, en constituant alors une unique discipline dont les fondements s'appuient sur des concepts et des connaissances scientifiques destinés à appréhender les systèmes pluritechnologiques qui nous entourent et à en concevoir de nouveaux en réponse aux besoins de la société d'aujourd'hui et de demain.

³ La technique est un ensemble de procédés et de méthodes d'un métier, d'une industrie. La technologie est l'ensemble des savoirs et des savoir-faire dans un domaine industriel, fondés sur des principes scientifiques, permettant l'étude des machines et des techniques.

Le CADAS, devenu aujourd'hui Académie des Technologies, en 1997, a proposé la définition suivante : « La technologie est la science des techniques, c'est-à-dire la maîtrise de leur devenir, tant par la connaissance des soubassements scientifiques qui les fondent, que par la connaissance de leur histoire et de leur insertion économique, sociale et culturelle dans la société ».

« On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres ; mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison » (Henri Poincaré).

Ce petit retour en arrière permet de comprendre pourquoi les sciences de l'ingénieur n'ont pas encore la notoriété d'autres sciences « historiques » comme les mathématiques, la physique ou la biologie.

Corpus de concepts et de connaissances en sciences de l'ingénieur

Toutes les disciplines – mécanique, thermodynamique, mécanique des milieux continus, énergétique, automatique, électrotechnique, électronique et informatique – possèdent des corpus de concepts et de connaissances, clairement identifiés, démontrés et vérifiés par l'expérimentation, qui ne relèvent ni du dogme ni de la croyance.

Il ne saurait être question de lister, ici, toutes les connaissances liées à ces disciplines. En revanche, il peut être utile de lister quelques concepts spécifiques aux sciences de l'ingénieur :

- le concept de système avec sa frontière, ses objectifs, ses fonctions, son organisation, ses interactions avec son environnement...;
- le concept d'architecture d'une chaîne fonctionnelle d'un système (chaîne de puissance – chaîne d'information) ;
- le concept de modélisation multi-physique, de modèle de connaissance et modèle de comportement ;
- le concept de modélisation par blocs des chaînes fonctionnelles, de manière causale ou acausale ;
- le concept de cahier des charges ;
- le concept de performances ;
-

Les sciences de l'ingénieur, dans leur dimension intégrative, s'appuient aussi sur des corpus de concepts et de connaissances d'autres sciences. Cette dimension intégrative a une influence sur la didactique des sciences de l'ingénieur. Celle-ci organise de façon cohérente, les compétences nécessaires à l'analyse, la modélisation, l'expérimentation, la simulation, la résolution de problèmes, la conception, la réalisation et l'innovation. Cette organisation n'est pas une agglomération plus ou moins ordonnée de connaissances, issues du passé ou de disciplines scientifiques et technologiques différentes, anciennes ou nouvelles. Afin de donner du sens aux enseignements, le positionnement relatif des blocs de compétences est fondamental. Il ne peut être fait de manière aléatoire. Ce positionnement s'appuie sur la logique des démarches en sciences de l'ingénieur (voir ci-dessous).

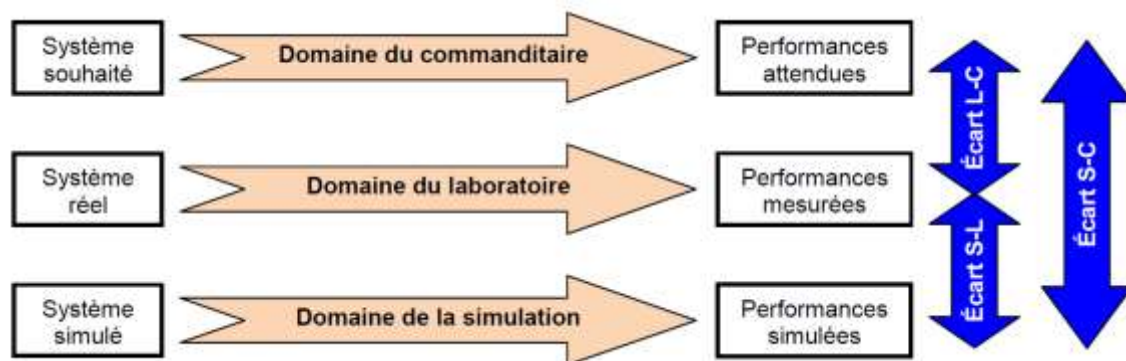
Démarches en sciences de l'ingénieur⁴

La démarche de l'ingénieur est caractéristique des sciences de l'ingénieur. Elle permet, en particulier :

- de conduire l'analyse fonctionnelle, structurelle et comportementale d'un système pluritechnologique, en allant du global au local et de l'entrée vers la sortie ;

⁴ La déclinaison de ces démarches dans le système éducatif et dans les entreprises peut varier dans la mesure où dans le premier cas elles participent à des apprentissages et dans l'autre elles sont dépendantes du contexte en particulier économique.

- de vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et des réponses expérimentales ;
- 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 calculées ou simulées ;
- de prévoir les performances d'un système à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances calculées ou simulées et les performances attendues au cahier des charges⁵ ;
- de concevoir et de réaliser des solutions en réponse à un besoin exprimé par un cahier des charges ;
d'analyser ces écarts et de proposer des solutions en vue d'une amélioration des performances.




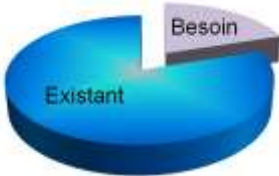

L'analyse de ces écarts et l'éventuelle proposition de solutions destinées à améliorer les solutions nécessitent la mobilisation de concepts spécifiques aux sciences de l'ingénieur, mais aussi de concepts et connaissances issus des mathématiques ou des sciences physiques.

La mise en place des modèles de connaissance s'appuie sur la maîtrise de ces concepts et s'élabore selon une démarche essentiellement déductive.

La mise en place des modèles de comportement, quant à elle, se fait à partir d'expérimentations selon une démarche essentiellement inductive.

En sciences de l'ingénieur, la démarche de l'ingénieur peut d'ailleurs être judicieusement complétée par la démarche d'investigation, la démarche de résolution de problèmes et la démarche de projet, dont le positionnement relatif est précisé dans le tableau ci-dessous :

⁵ Un cahier des charges est un document dans lequel sont énumérées les obligations technologiques et économiques se rapportant aux conditions de conception et aux performances attendues par le système.

	Démarche d'investigation	Démarche de résolution de problèmes techniques	Démarche de projet
Objectif de la démarche	Découvrir et comprendre	Agir	Décider et agir
Activité dans la démarche	Analyser et chercher	Résoudre	Concevoir, développer et agir
Support ou point de départ de la démarche	Système abouti 	Système perfectible 	Cahier des charges 

Évolution des sciences de l'ingénieur

Les besoins de l'Homme évoluent de manière exponentielle, l'organisation de la société se transforme dans des proportions qu'il va falloir anticiper : 9 milliards d'hommes et de femmes en 2050 dont 75 % vivront dans les villes, accéder à l'eau, à l'énergie, à la santé, à l'information, à la formation..., s'adapter au réchauffement climatique, préserver la biodiversité, gérer l'alternative à l'énergie fossile, sortir du déséquilibre Nord/Sud..., appréhender la transition écologique, la transition énergétique, la transition numérique.

Ces changements constituent autant d'enjeux auxquels les sciences de l'ingénieur devront apporter des réponses pour relever tous ces défis, et la recherche dans les domaines relatifs aux sciences de l'ingénieur va conduire à l'émergence de nouveaux corpus de concepts et de connaissances qui vont compléter, renouveler et dynamiser le corpus actuel de concepts et de connaissances.

3. Pourquoi les sciences de l'ingénieur sont une science ?

Les sciences de l'ingénieur

- possèdent de véritables corpus de concepts et de connaissances avérés et vérifiés et utilisent des modèles spécifiques ;
- s'appuient sur des démarches rigoureuses ;
- sont en évolution permanente.

Les sciences de l'ingénieur sont donc une science et, comme la physique par exemple, tantôt fondamentale tantôt appliquée.

4. Pourquoi les sciences de l'ingénieur ne sont-elles pas reconnues comme une discipline scientifique fondamentale dans le système éducatif français ?

C'est une énigme à laquelle il est difficile de répondre puisque tous les ingrédients sont réunis pour cette reconnaissance.

Comme il semble difficile d'imaginer que les sciences de l'ingénieur, avec leur corpus de concepts et de connaissances et leurs démarches, sont trop récentes pour ne pouvoir être

appréhendées et appréciées à leur juste valeur par les décideurs actuels, l'une des hypothèses plausibles peut être la suivante : il subsiste une confusion entre technique, technologie et sciences de l'ingénieur.

La technique est un ensemble de procédés et de méthodes d'un métier, d'une industrie.

La technologie est l'ensemble des savoirs et des savoir-faire dans un domaine industriel, fondés sur des principes scientifiques, permettant l'étude des machines et des techniques. Les sciences de l'ingénieur en tant que sciences ont pour finalités la formulation d'un corpus de concepts et de connaissances nécessaires à la conception et à la réalisation de systèmes pluritechnologiques qui répondent aux besoins de l'Homme.

Les différences entre technique, technologie et sciences de l'ingénieur ne semblent pas être comprises, et comme sciences de l'ingénieur et technologie sont de plus en plus interdépendantes, l'amalgame est fait au détriment du caractère scientifique des sciences de l'ingénieur. Ce mélange est fort regrettable pour les jeunes car il ne développe pas des vocations scientifiques pour l'ingénierie, et par conséquent il est préjudiciable à notre société actuelle qui souffre de son manque de performances dans son développement industriel.

Une autre hypothèse peut être que les sciences de l'ingénieur nécessitent systématiquement une explication et une justification de ce qui fait leur spécificité, dans la mesure où elles s'appuient sur d'autres disciplines en les intégrant et en les coordonnant pour répondre à un problème donné.

Curieusement, cet amalgame n'existe pas en sciences de la vie et de la Terre alors que l'on est passé du naturalisme (description des animaux, des plantes...) à des modèles plus scientifiques.

5. Conclusion

Les sciences de l'ingénieur, inhérentes aux progrès scientifiques, sont une science, elles s'appuient sur des technologies et elles s'appliquent dans l'industrie. La chimie possède les mêmes caractéristiques intrinsèques, mais la confusion ne semble pas exister, peut-être du fait de son ancienneté plus grande dans le système éducatif français.

Doit-on se résoudre en France à ne parler que de mathématiques, physique, chimie et biologie ? Doit-on ne considérer que les disciplines plus « anciennes » qui sont portées par des travaux de recherches reconnus au niveau mondial par des prix Nobel ou des médailles Fields ?

Je ne le souhaite pas, car ce serait une grave erreur pour notre industrie qui manque de plus en plus cruellement de ressources humaines pour traiter les défis du 21^e siècle (voir ci-dessus).

La place des sciences de l'ingénieur s'est affirmée au cours des dernières décennies dans tous les pays performants, mais cette discipline scientifique ne semble pas fondamentale dans le système éducatif français qui privilégie la hiérarchisation des savoirs, des disciplines et même des formes d'intelligence, d'excellences, de talents etc. Cette hiérarchisation est sans doute héritée d'Auguste Comte et aussi des représentations sociales attachées au rôle dévolu historiquement à l'enseignement technique. Elle est peut-être même plus ancienne, puisqu'au Moyen Âge on opposait les arts libéraux aux arts mécaniques.

Les sciences de l'ingénieur sont enseignées aussi bien en CPGE, dans les Grandes Écoles que dans les universités. Par conséquent, ce sont des sciences qui répondent à des besoins de connaissance, à des besoins économiques et à la démocratisation de l'accès et de la réussite dans l'enseignement supérieur.

L'approche pluritechnologique des systèmes de plus en plus complexes a entraîné *de facto* une unification des contenus d'enseignement (on l'a vu avec la filière STI2D) et donc à une disciplinarisation des sciences de l'ingénieur.

Il est donc très important de tout faire pour que la confusion entre sciences et technologie disparaisse. Pour cela, il est impératif de donner un nom unique à cette discipline tout au long du cursus scolaire. Actuellement, elle s'appelle :

- technologie au collège ;
- sciences de l'ingénieur au cycle terminal du lycée ;
- sciences industrielles de l'ingénieur en CPGE.

Quant à la filière STI2D, quelle est sa dénomination précise ?

Espérons que la reconnaissance des sciences de l'ingénieur dans le système éducatif français devienne rapidement une réalité. C'est déjà le cas à l'UNESCO (<http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/science-technology/>).

C'est le vœu le plus cher que je formule dans l'intérêt de notre Nation.

Norbert PERROT
IGEN
Avril 2019