



UNIVERSITAS
FRIBURGENSIS

did@ctic



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Projet Compétences SGM

Section de Génie Mécanique

Rapport d'activité de la collaboration EPFL-UNIFR

Mai 2009 -Avril 2010



Préface

Les compétences sont depuis longtemps prises en considération dans la gestion des entreprises. Elles interviennent bien entendu dans la gestion du personnel, mais également dans la planification des ressources. Les milieux académiques se sont penchés également depuis de nombreuses années sur les concepts de compétence, sur leur intégration dans la gestion des entreprises, sur leur évaluation et leur modélisation. Un secteur entier de recherche académique très actif s'est ainsi développé.

Paradoxalement, ces milieux académiques qui ont tant investi dans la recherche relative aux compétences en entreprises, n'ont que très rarement intégré ces mêmes concepts dans l'élaboration des cursus de formation et la réalisation des plans d'études. Soyons honnêtes, les plans d'études de nos institutions académiques sont généralement issus d'un long historique de négociation entre collègues, tous persuadés d'enseigner une matière essentielle à la formation des étudiants. Une étude rapide de l'importance relative des différentes disciplines au sein d'un plan d'études permettrait probablement de retracer le poids des personnalités des enseignants d'un domaine au cours du passé.

Ce paradoxe a motivé certains enseignants-chercheurs de la section de Génie mécanique de l'EPFL, ayant mené à bien des travaux de recherche sur la gestion des compétences en entreprises, à lancer un projet visant à mettre sur pied une approche d'élaboration d'un plan d'études basée sur les compétences. Ce projet de plusieurs années a mis à contribution tout d'abord des personnes ayant une connaissance approfondie des compétences, des spécialistes de la pédagogie, puis l'ensemble des enseignants de la section de Génie mécanique.

Comme dans tout projet innovant, des étapes ont été franchies avec des degrés de difficulté variables. Des phases d'enthousiasme ont fait suite à des périodes de découragement. Le chemin a parfois été moins direct qu'espéré, mais des résultats significatifs ont été atteints et la façon d'aborder la réalisation et l'adaptation continue du plan d'études a totalement changé. L'argumentation et la négociation sur les heures de cours ont fait place à des discussions sur les acquis d'apprentissage dont la combinaison structurée vise à l'acquisition progressive d'une compétence requise des étudiants en fin de parcours.

De nombreux documents ont été élaborés au cours de ce projet. Certains sont spécifiques au domaine du Génie mécanique, d'autres ont un caractère plus générique. Mais la démarche développée présente un intérêt pour tout enseignement universitaire.

Ce document ne constitue pas un ouvrage académique structuré. Il n'a pas de prétention scientifique, mais a pour but de rassembler les documents clés réalisés au cours du projet. L'objectif poursuivi en publiant ces documents est de mettre à disposition d'autres responsables académiques les expériences acquises, ainsi que les approches et outils développés. Les auteurs forment l'espoir qu'ils motiveront leurs collègues à adopter une approche plus systématique et rigoureuse dans l'élaboration des plans d'études qui constituent le fondement de la formation des futurs cadres de notre société.

Prof. Remy Glardon

Directeur de la Section de Génie Mécanique au moment du démarrage du projet

Remerciements

Ce projet a été mené par une équipe *ad hoc*, motivée par une vision de l'ingénierie intégrant des dimensions humaines, technologiques et scientifiques et convaincue que la formation d'ingénieur de haut niveau correspondant à la mission de l'EPFL requiert une collaboration étroite et coordonnée entre ses acteurs: Prof. Remy Glardon, Prof. Bernadette Charlier, Dr Nathalie Deschryver. Mme Christine Gil, l'administratrice de la Section de Génie mécanique, Prof. Thomas Gmür, son actuel directeur, et Dr Matteo Galli, l'adjoint au directeur, ont aussi activement soutenu ce projet (et ses acteurs) dans leurs responsabilités respectives.

Ce travail ambitieux n'aurait pas été possible sans une très large collaboration au sein de la section de Génie mécanique et même au-delà.

Un grand merci d'abord à l'ensemble des enseignants de la section qui ont participé aux « journées au vert » de Bois Chamblard et ont accepté de partager leur expériences et leur vision sur l'enseignement du Génie mécanique. Un petit groupe parmi eux nous a même activement accompagné en participant à de nombreuses réunions de démarrage et de suivi: Prof. Michel Deville, MER Denis Gillet, Dr Alain Schorderet. Ce groupe a été activement soutenu par Jean-Louis Ricci du Craft et Pierre-André Besse du décanat bachelor-master.

Nous sommes grandement reconnaissants aussi à toutes les personnes, ingénieurs ou cadres, qui ont accepté de répondre à notre enquête « Delphi » ainsi qu'à Anne Sylvie Borter qui en a assuré l'édition.

Les conseillers d'orientation de la section, Dr Joël Cugnoni, MER Alireza Karimi, MER François Maréchal, Prof. Dominique Pioletti, Dr Mark Sawley, Prof. Paul Xirouchakis et Dr Alain Schorderet, ont joué (et vont continuer à jouer) un rôle majeur dans la traduction des compétences identifiées en objectifs d'apprentissage et au pilotage du plan d'étude. Ils ont investi un nombre d'heures important pour coordonner avec leurs collègues enseignants et entre eux la reconstruction des fondations et des structures porteuses du plan d'études.

Une des grandes difficultés de ce projet a été de le mener parallèlement aux affaires courantes de la section. Les acteurs critiques étaient sollicités en plus d'une charge de travail quotidienne très importante. Le financement extérieur a donc été particulièrement critique. L'aide du Craft et de la Crus a rendu possible la

collaboration avec l'université de Fribourg qui a été essentielle pour le déploiement du projet.

Donc à toutes ces personnes et instances, un grand merci pour leur collaboration.

Dr Jean-Marie Fürbringer

Chef de projet, adjoint au directeur de la Section de Génie Mécanique au moment du démarrage du projet

Projet Compétences SGM (Section de Génie Mécanique)

Rapport d'activité à destination de la CRUS – Mai 2009 – Février 2011

Dr. Nathalie DESCHRYVER
Sous la direction du Prof. Bernadette Charlier

| | |
|--|---|
| 1. Objectifs du mandat..... | 2 |
| 2. Mise en œuvre | 2 |
| 2.1. Modalités de travail en collaboration avec l'EPFL..... | 2 |
| 2.2. Analyse qualitative des données de l'enquête..... | 2 |
| 2.3. Documents décrivant le programme / plan d'étude..... | 2 |
| 2.4. Documentation du projet (productions et processus de construction avec les enseignants) | 2 |
| 3. Perspectives | 3 |
| 3.1. Perspectives de développement et de mise en œuvre du plan d'étude..... | 3 |
| 3.2. Gestion des enjeux dans la suite du projet | 3 |
| 4. Références échangées dans le projet..... | 4 |
| 5. Annexes..... | 6 |

1. Objectifs du mandat

1. Accompagner la commission d'enseignement de la Section de Génie Mécanique de l'EPFL dans l'écriture de son plan d'étude BA et MA (en termes de compétences et de learning outcomes) ;
2. Documenter le projet et sa méthodologie en vue de la diffusion à l'intérieur et à l'extérieur de l'institution.

2. Mise en œuvre

2.1. Modalités de travail en collaboration avec l'EPFL

- Mise en place/gestion/utilisation/ d'un espace de travail collaboratif en ligne (dépôt des ressources, des productions, des comptes-rendus de réunions, messages pour l'équipe de coordination) ;
- Une trentaine de réunions de travail de l'équipe de coordination restreinte et élargie, en présentiel et à distance (skype) : préparation des ordres du jour, animation et rédaction des procès-verbaux ;
- Participation à la préparation et l'animation de 4 ateliers de travail d'une demi-journée chacun avec les enseignants et réunions de travail avec les conseillers ;
- Participation à des réunions de la section ;
- Ecriture collaborative de plusieurs documents, présentés ci-dessous et disponibles en annexe, permettant de documenter le projet et d'assurer son évolution.

2.2. Analyse qualitative des données de l'enquête

- Analyse qualitative des données de l'enquête, production d'un document de catégorisation des données (voir Annexes, point 5).

2.3. Documents décrivant le programme / plan d'étude

- « Référentiel de compétences du diplômé ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL » (voir Annexes, point 5)
- Tableau de mise en relation des Acquis d'apprentissage – Compétences – Activités d'apprentissage (un extrait du document .xls est inséré dans le référentiel)

2.4. Documentation du projet (productions et processus de construction avec les enseignants)

- **Description du projet destiné notamment à faciliter la diffusion et l'adaptation de la méthode conçue**
 - o « Un nouveau programme de formation pour l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL » (voir Annexes, point 5)
- **Publications destinées à faire connaître le projet en Suisse et au niveau international**
 - o Communication dans le cadre de l'AREF
 - Deschryver, N., Charlier, B., Fürbringer, J.-M., et al. (2010).Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de Génie

Mécanique de l'EPFL. *Congrès international d'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Genève. (voir Annexes, point 5)

- Communication dans le cadre des ateliers du Service Formation continue de l'UNIGE
 - Deschryver N. L'approche par compétence en pratique. Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de Génie Mécanique de l'EPFL. *Atelier de partage d'expérience. Service de formation continue*, Université de Genève, 25.11.2010.
- Coordination d'une revue thématique sur le thème de l'approche par compétences en enseignement supérieur et publication
 - Appel à soumission au n° thématique e-296 de la revue Education-Formation (U. de Mons-Hainaut) « *Développer et évaluer des compétences dans l'enseignement supérieur : réflexions et pratiques* » Nathalie Deschryver-Bernadette Charlier (voir Annexes, point 5)
<http://ute3.umh.ac.be/revues/index.php?revue=9&page=4#e296>
 - Deschryver, N., Charlier, B., Fürbringer, J.-M., et al. (*à paraître*). L'approche par compétence en pratique. Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de Génie Mécanique de l'EPFL. *Revue Education Formation*, e-296. (voir Annexes, point 5). Une traduction en anglais de cet article est prévue.
- Projet de publication en anglais des résultats du projet.

3. Perspectives

3.1. Perspectives de développement et de mise en œuvre du plan d'étude

- Une fois que les acquis auront été distribués sur les cours et activités existants, proposer de nouvelles activités pour les acquis qui ne seraient pas pris en charge ;
- Une fois les fiches de cours réalisées, réfléchir avec les enseignants à la cohérence entre les acquis visés dans leur cours, les méthodes pour les développer ainsi que pour les évaluer ;
- De manière à ce que le plan d'étude soit utile pour chacun des acteurs impliqués, l'équipe de coordination envisage une diffusion du plan d'étude via une interface électronique, selon les objectifs visés par chaque acteur :
 - pour l'étudiant, il aurait accès à ce plan d'étude en tant que plan d'étude personnel, en fonction d'un profil professionnel visé, qu'il se constituerait au fur et à mesure de sa formation ;
 - pour l'enseignant, le point d'entrée serait les acquis selon son domaine, qu'il choisirait pour créer sa ou ses fiches de cours ;
- Réfléchir à la manière d'impliquer les étudiants dans la mise en œuvre de ce nouveau plan d'étude, pour qu'ils puissent se l'approprier ;
- Diffuser les résultats de ce projet au monde professionnel et particulièrement aux participants à l'enquête ;
- Réflexion sur les perspectives de transfert à l'EPFL dans les autres sections.

3.2. Gestion des enjeux dans la suite du projet

- La **gestion du projet**. Envisager le développement du plan d'étude comme un projet et le gérer de cette manière selon une approche itérative et adaptative.
- La **coordination** d'un tel projet. Des compétences complémentaires sont fondamentales, au niveau de la pédagogie de l'enseignement supérieur, du domaine de formation visé, de la gestion de l'innovation et de la complexité ainsi que de la fonction-même de coordination.

C'est le changement de poste d'une personne-clef dans la coordination qui a mis en lumière l'importance de ces compétences pour la réussite d'un tel projet.

- la **gestion de la complexité**, parmi les compétences de la coordination. Il s'agit de prendre des décisions en situation d'incertitude et de gérer un système multidimensionnel (exemple : le caractère multidimensionnel du référentiel lui-même). L'enjeu dans ce type de projet est de faire en sorte que cette complexité ne soit pas préjudiciable au projet de changement. Les décisions prises doivent donc viser le plus possible à faciliter la compréhension, à simplifier les propos, à réduire les dimensions quand c'était possible, à partir le plus possible des « mots » et des pratiques existantes, à illustrer par des exemples.
- Equilibrer la référence à la théorie, les balises institutionnelles (CRUS, FKH et al., 2009) et le respect des pratiques existantes. Ainsi, la construction du plan d'étude est le résultat d'un **compromis** entre ces trois dimensions.
- Privilégier une **approche curriculaire** qui combine le complexe et le concret (Roegiers, 2010) : « *Le complexe parce que les études supérieures, quelles qu'elles soient, préparent à vivre et à travailler dans un monde complexe, dont il importe de retrouver le sens (Ladrière, 1984 ;Ziegler, 2007). Le concret, parce que, plus que jamais, dans le contexte international que nous connaissons, il est nécessaire d'évaluer les acquis des étudiants de manière plus précise et plus formelle.* » Selon Roegiers, c'est l'approche curriculaire de la pédagogie de l'intégration qui permet le plus de combiner ces deux dimensions. Cette approche propose d'organiser la formation autour d'un noyau de compétences évaluables, qui correspondent à des familles de situations complexes face auxquelles les étudiants doivent pouvoir faire face au terme de leur formation. L'enjeu est donc d'éviter de juxtaposer des acquis de faible niveau d'intégration, mais de permettre à l'étudiant de les mobiliser dans des situations complexes ou des activités d'intégration comme des stages, un mémoire, un projet, une recherche, etc. A l'EPFL, ces situations (projets, mémoire, séminaire) existent déjà sans être formalisées et une nouvelle situation (des stages) verra bientôt le jour.
- **Veiller aux conditions du changement.** Faire en sorte qu'une équipe s'engage dans la réalisation et le suivi du projet avec l'appui de la direction et éventuellement un accompagnement externe. Veiller à ce que les changements apportés au plan d'étude soient acceptables par les individus et les groupes et réalisables.
- **Permettre la réutilisation de la méthode.** Les documents mis à disposition devraient permettre à des équipes n'ayant pas participé au projet de « gagner du temps » pour leur propre démarche en trouvant : la proposition d'une démarche complète partant de l'analyse des besoins pour aboutir au plan d'étude ainsi que des modes de représentations (tableaux, schémas) adaptables en fonction de leurs besoins. L'identification des enjeux (évoqués brièvement plus haut) devraient leur permettre d'anticiper les points critiques et d'améliorer la démarche.

4. Références échangées dans le projet

Alean, P., Berthiaume, D., Comte, M., et al. (2010). *Principles and scenarios for the implementation of the National Qualification Framework (nqf-ch)*. Rapport.: Swiss Faculty Development Network.

ASCE (2008). *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century. Preparing the Civil Engineer for the Future*. Rapport. Reston, Virginia: ASCE.

Beckers, J. (2005). Est-il possible de faire de la pédagogie par compétences une alliée de l'équité à l'école ? *Cahiers du Service de Pédagogie Expérimentale*, 21-22, 41-63.

Berggren, K.-F., Brodeur, D., Crawley, E. F., et al. (2003). CDIO: An international initiative for reforming engineering education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 2 (1), 49-52.

- Biggs, J. (2003). *Teaching for Quality Learning at University*. Buckingham: The Society for Research into Higher Education and Open University Press.
- Charbonneau, P., Diehl, J.-L., Garrigues, B., et al. (2008, dernier accès). METHODOLOGIE DE RECOMMANDATIONS D'EXPERTS, Société de Réanimation de la langue française, <http://www.srlf.org/Data/pdf/methodologie-Recom-Experts-SRLF-6.pdf>.
- Crahay, M. (2006). Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation *Revue Française de Pédagogie*, 154, 97-110.
- CRUS, FKH et COHEP (2009). Cadre de qualifications pour le domaine des hautes écoles suisses / nqf.ch-HS (adopté par le cd-cr.ch à l'intention du SER le 23 novembre 2009), <http://www.crus.ch/dms.php?id=9663>.
- Davis, D. C., Beyerlein, S. W. et Davis, I. T. (2006). Deriving Design Course Learning Outcomes from a Professional Profile. *International Journal of Engineering Education*, 22 (3), 439-446.
- Davoine, E. (2007). TUNING 3 : Quels apports pour l'Université de Fribourg ? (ppt), Tuning,
- De Ketele, J.-M., Chastrette, M., Cros, D., et al. (2007). *Guide du formateur. 3e édition*. Bruxelles: De Boeck.
- Engineering Council UK (2005). Chartered Engineer and Incorporated Engineer Standard, Engineering Council UK, http://www.iagre.org/files/ce_ie.pdf.
- Faculté des Sciences appliquées/Ecole polytechnique de l'ULB et Faculté Polytechnique de Mons (2009). Ingénieur civil. Référentiel de compétences (flyer),
- Heitmann, G., Avdelas, A. et Arne, O. (2003). E4 Thematic Network: Enhancing engineering Education in Europe - Volume C: Innovative curricula in engineering education. C. Borri et F. Maffioli. Firenze, Firenze University Press, http://e-prints.unifi.it/archive/00000348/01/Borri_Volume_C_online.pdf.
- HEP Vaud (2009, dernier accès) Formation des enseignants. Référentiel de compétences professionnelles. <http://www.hepl.ch/index.php?id=768>
- Hotte, R., Basque, J., Page-Lamarche, V., et al. (2007). Ingénierie des compétences et scénarisation pédagogique. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 4 (2), 38-56.
- Huberman, A. M. (1973). *Comment s'opèrent les changements en éducation : contributions à l'étude de l'innovation*. UNESCO et Presses Centrales de Lausanne, 2e impression.
- Kemp, B. (1999). Curriculum Planning with 'Learning Outcomes': a theoretical analysis, University of Wolverhampton, http://www.wlv.ac.uk/pdf/uwbs_wp004-99%20kemp.pdf.
- Kennedy, D., Hyland, A. et Ryan, N. (2009). C 3.4-1 Writing and Using Learning Outcomes: a Practical Guide. *EUA Bologna Handbook*, <http://www.bologna.msmt.cz/files/learning-outcomes.pdf>.
- Le Boterf, G. (2006). *Ingénierie et évaluation des compétences*. Paris: Éditions d'organisation.
- Meijers, A. W. M., van Overveld, C. W. A. M. et Perrenet, J. C. (2005). Criteria for Academic Bachelor's and Master's Curricula. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, http://w3.tm.tue.nl/uploads/media/AC_ENG_web.pdf.
- National Academy of Engineering (2004). The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century - Free Executive Summary, <http://www.engr.uconn.edu/pdf/EngineerOf2020.pdf>.
- OECD (2005). THE DEFINITION AND SELECTION OF KEY COMPETENCIES. Executive Summary, <http://www.oecd.org/dataoecd/47/61/35070367.pdf>.

Ordre des ingénieurs du Québec (2008). Guide de développement des compétences de l'ingénieur, http://www.oiq.qc.ca/pdf/guide_compétences.pdf.

Paquette, G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences. Un langage graphique pour concevoir et apprendre*. Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.

Péladeau, N., Forget, J. et Gagné, F. (2005). Le transfert des apprentissages et la réforme de l'éducation au Québec : quelques mises au point. *Revue des sciences de l'éducation*, 31 (1), 187-209.

Perrenoud, P. (2005). Développer des compétences, mission centrale ou marginale de l'université ? *Congrès de l'Association internationale de pédagogie universitaire (AIPU)*, Université de Genève, http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2005/2005_15.html.

Postiaux, N. (2008). Référentiel de compétences en formation d'ingénieurs (ppt). *Séance d'information "Bologne: un plus pour votre institution ! Vers une mobilité attractive et de qualité". Dans le cadre du Programme européen LLL*, Bruxelles,

http://www.aefeurope.be/.../Powerpoint_de_la_seance_d_information_Experts_Bologne_4_novembre_2008.ppt.

Postiaux, N. (2010). Rôle des référentiels de compétences dans le pilotage des formations supérieures. *Congrès international d'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Genève,

Poumay, M. et Tardif, J. (2010). Accompagner une réforme vers des programmes visant le développement de compétences. Difficultés et leviers. *Colloque de l'AIPU*, Rabat, Maroc,

Roegiers, X. (2010). La révision des curricula en termes de compétences dans l'enseignement supérieur : quelques lignes de force dégagées de l'accompagnement de quelques institutions. *Colloque de l'AIPU*, Rabat, Maroc,

Romainville, M. (2006). L'approche par compétences en Belgique francophone : où en est-on ? *Les Cahiers pédagogiques*, 439, 24-25.

Romainville, M. (2008). Et si on arrêta de tirer sur les compétences ? *inDIRECT*, 10, 31-44.

Tuning (2005). Questionnaire on generic skills,

http://www.tuning.unideusto.org/tuningeu/index.php?option=com_docman&task=docclick&Itemid=59&bid=43&limitstart=0&limit=5.

Wesselink, R., Biemans, H. J. A., Mulder, M., et al. (2007). La FEP basée sur les compétences selon les chercheurs néerlandais. *Revue européenne de formation professionnelle*, 40 (1), 41-56.

5. Annexes

1. « Référentiel de compétences du diplômé ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL »
2. « Un nouveau programme de formation pour l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL »
3. Deschryver, N., Charlier, B., Fürbringer, J.-M., et al. (2010). Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de Génie Mécanique de l'EPFL. *Congrès international d'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Genève.
4. Appel à soumission au n° thématique e-296 de la revue Education-Formation (U. de Mons-Hainaut) « Développer et évaluer des compétences dans l'enseignement supérieur : réflexions et pratiques » Nathalie Deschryver- Bernadette Charlier
<http://ute3.umh.ac.be/revues/index.php?revue=9&page=4#e296>

5. Deschryver, N., Charlier, B., Fürbringer, J.-M., et al. (*à paraître*). L'approche par compétence en pratique. Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de Génie Mécanique de l'EPFL. *Revue Education Formation*, e-296.
6. Questionnaire d'enquête (réalisé avant le projet CRUS)
7. Analyse quantitative des données de l'enquête
8. Analyse qualitative des données de l'enquête - document de catégorisation des données

Annexe 1

« Référentiel de compétences du diplômé
ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL »

Référentiel de compétences du diplômé ingénieur(e) mécanicien(ne) EPFL

Version 3 – pour les équipes de travail par domaine

Auteurs : SGM – Dr J-M. Fürbringer, Prof. R. Glardon ; Did@ctic-UniFR – Dr N. Deschryver, Prof. B. Charlier

| | |
|--|----|
| Introduction..... | 2 |
| A qui s’adresse ce document ? | 2 |
| Pourquoi ce document ? | 2 |
| Les compétences | 2 |
| Compétence 1 - Comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique | 4 |
| Description | 4 |
| Composantes | 4 |
| Exemples de situation de formation pour développer cette compétence | 4 |
| Citations de l’enquête | 4 |
| Description des composantes, exemples de situation de formation et d’évaluation | 6 |
| Compétence 2 - A partir d’une réalité complexe, identifier, modéliser et analyser des problèmes en adoptant une approche scientifique, holistique et multidisciplinaire..... | 7 |
| Description | 7 |
| Composantes | 7 |
| Exemples de situation de formation pour développer cette compétence | 7 |
| Citations de l’Etude Delphi..... | 7 |
| Description des composantes, exemples de situation de formation et d’évaluation..... | 9 |
| Compétence 3 - Concevoir et mettre en œuvre des solutions innovantes, efficaces et durables dans une perspective d’entreprise et/ou de recherche | 10 |
| Description | 10 |
| Composantes | 10 |
| Exemples de situation de formation pour développer cette compétence | 10 |
| Citations de l’Etude Delphi..... | 10 |
| Description des composantes, exemples de situation de formation et d’évaluation..... | 11 |
| Compétence 4 – Gérer des activités, des projets et des personnes | 12 |
| Description | 12 |
| Composantes | 12 |
| Exemples de situation de formation pour développer cette compétence | 12 |
| Citations de l’Etude Delphi..... | 12 |
| Description des composantes, exemples de situation de formation et d’évaluation..... | 14 |
| Compétence 5 - Agir en professionnel(le) responsable..... | 15 |
| Description | 15 |
| Composantes | 15 |
| Exemples de situation de formation pour développer cette compétence | 15 |
| Citations de l’Etude Delphi..... | 15 |
| Description des composantes, exemples de situation de formation et d’évaluation..... | 17 |
| Les domaines spécifiques et contributifs de la SGM..... | 18 |
| Domaine transversal..... | 19 |
| Concepts centraux | 19 |
| Situations professionnelles typiques | 20 |
| Domaine spécifique « Mécanique des solides et des structures » | 21 |
| Domaine spécifique « Conception et Production »..... | 24 |
| Domaine spécifique « Automatique et Mécatronique » | 28 |
| Domaine spécifique « Aéro-hydrodynamique » | 30 |
| Domaine spécifique « Biomécanique » | 33 |
| Domaine spécifique « Energie » | 36 |
| Glossaire | 39 |

Introduction

A qui s'adresse ce document ?

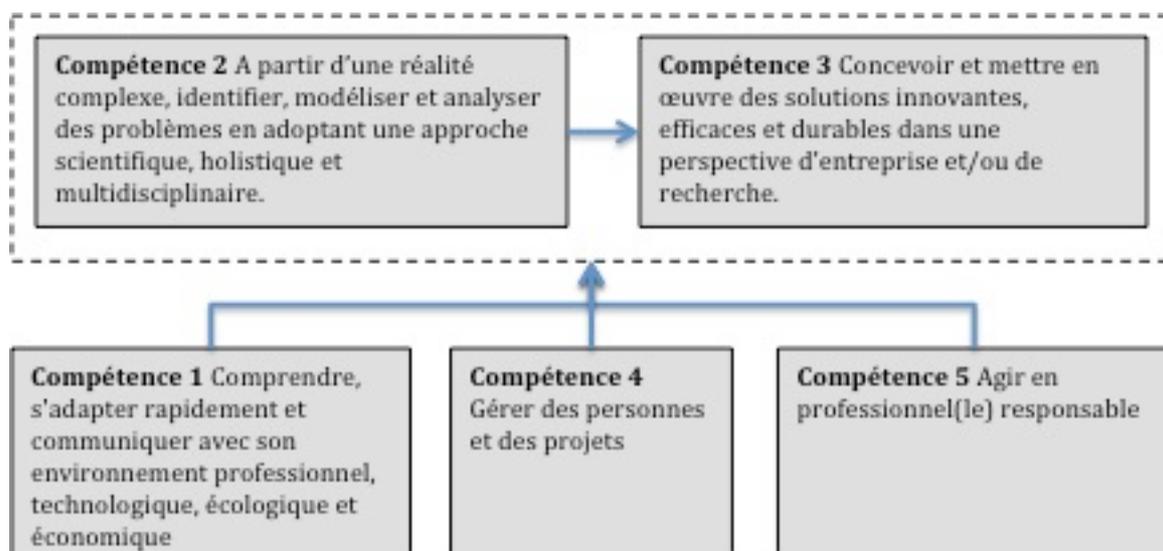
Ce document s'adresse aux différents acteurs impliqués dans la formation des ingénieurs mécaniciens EPFL (enseignants, étudiants, professionnels contactés pour cette étude et au-delà), en fonction de l'état d'avancement du projet. Cette version s'adresse plus spécifiquement aux équipes de travail par domaine qui participent à la construction de ce programme. Il s'adressera également à terme aux autres sections de l'EPFL voire d'autres institutions d'enseignement supérieur intéressées dans l'amélioration de leurs systèmes de formation.

Pourquoi ce document ?

Ce document constitue le niveau général du nouveau programme de formation Bachelor-Master de génie mécanique à l'EPFL (voir les autres documents de pilotage du programme, *acquis d'apprentissage* et *fiches de cours*, décrits dans « Un nouveau programme de formation pour l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL »). Il vise à décrire les compétences attendues pour les ingénieurs mécaniciens EPFL, leurs composantes et leurs liens entre elles. Le lien avec la formation est établi par des exemples de situations de formation pouvant permettre de développer les compétences. Un deuxième lien est réalisé par la description des domaines de la formation : pour chacun, des profils professionnels sont décrits en lien avec les compétences visées.

Les compétences

Les 5 compétences présentées dans ce document ont été établies par l'analyse d'un questionnaire soumis à un panel de 30 personnes, ingénieurs mécaniciens eux-mêmes ou collaborant étroitement avec des personnes de cette profession. Pour structurer les opinions récoltées, nous nous sommes inspirés de référentiels existants tel que celui de l'ULB¹. Pour rendre compte de cette enquête, chaque compétence est illustrée par des citations extraites de l'enquête. Des exemples de situations dans lesquelles ces compétences pourraient être développées sont également proposés. A terme, des exemples de situations professionnelles dans lesquelles ces compétences s'exercent pourraient être ajoutées.



Ces cinq compétences sont bien sûr interdépendantes. D'autre part, elles représentent une tentative de description générique d'attentes très diverses de la part de la société dans son ensemble et d'employeurs

¹ Faculté des Sciences appliquées/Ecole polytechnique de l'ULB et Faculté Polytechnique de Mons (2009). Ingénieur civil. Référentiel de compétences (flyer)

en particulier. Le lecteur se rendra compte rapidement que ces compétences décrivent un profil professionnel de base universitaire, orienté vers l'efficacité et l'efficience et peuvent s'appliquer à d'autres formations d'ingénieur. La spécificité du Génie mécanique apparaît dans la description des domaines (p.18), la caractérisation des deux compétences centrales C2 et C3, ainsi que dans les Fiches de cours. La figure ci-dessus montre la manière dont s'articulent ces cinq compétences. Les deux compétences centrales (C2 et C3) constituent en quelque sorte le cœur du métier d'ingénieur. Fondamentalement, l'ingénieur analyse des situations complexes, conçoit et met en œuvre des solutions. Pour ce faire, il doit pouvoir comprendre, s'adapter et communiquer avec son environnement (C1), gérer des projets et des personnes (C4) et on attend de lui qu'il agisse en professionnel responsable (C5).

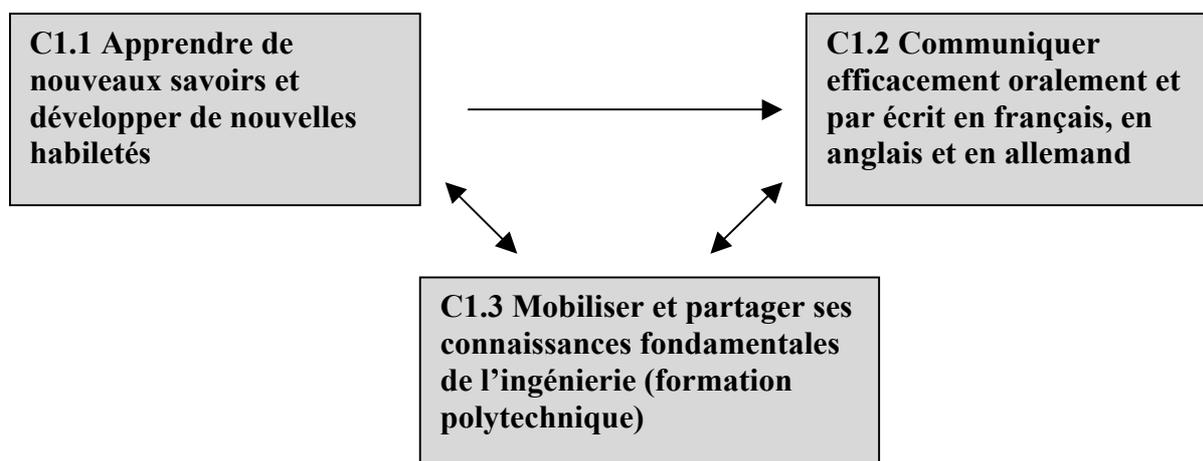
Compétence 1 - Comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique

Description

Une des premières compétences attendues chez l'ingénieur EPFL est sa capacité à comprendre, s'adapter et communiquer dans son environnement. Cette compétence requiert, comme indiqué dans le schéma ci-dessous, de mobiliser ses connaissances fondamentales, d'apprendre de nouveaux savoirs en fonction des besoins ainsi que de communiquer ses connaissances aussi bien oralement que par écrit en adaptant son discours à la situation. Les trois composantes de cette première compétence sont bien entendu inter-reliées. Pour mobiliser et partager ses connaissances, l'ingénieur doit d'abord les apprendre en mettant en place des méthodologies d'apprentissage: il a appris à apprendre (C1.1→C1.2). Maîtriser des connaissances, c'est être capable de les mobiliser pour comprendre son environnement. Une maîtrise des connaissances fondamentales est nécessaire à celles des compétences spécifiques de l'ingénieur mécanicien (C2 et C3). Par exemple la prise en compte des phénomènes vibratoires lors de la conception d'une pièce mécanique requiert entre autres la compréhension de concept d'analyse de Fourier.

Pour s'adapter à son environnement et communiquer avec lui, il s'agira ensuite d'être capable de communiquer efficacement ses connaissances aussi bien oralement que par écrit avec cet environnement.

Composantes



Exemples de situation de formation pour développer cette compétence

Diverses situations de formation sont nécessaires pour développer pleinement cette compétence :

- Des ateliers, de préférence au début des études, pour proposer aux étudiants une réflexion sur leurs méthodes d'apprentissage avec la possibilité de tester différentes stratégies et de recevoir un feedback sur leurs propres méthodes et de développer un cadre de réflexion méthodologique ;
- Des évaluations riches en feedback, c'est-à-dire des situations dans lesquelles l'étudiant résout un exercice, analyse un dispositif, présente le résultat de son travail et reçoit de la part des enseignants un feedback sur son approche du problème, sa méthode de recherche de solution, sa mise en œuvre, etc. Ces feedbacks doivent lui permettre de prendre conscience des possibilités d'amélioration, des éventuelles insuffisances et de l'orienter vers des ressources pertinentes;
- Des séminaires dans lesquels l'étudiant doit présenter et expliquer des phénomènes et des concepts du génie mécanique, analyser, préparer et défendre des argumentations.

Citations de l'enquête

Voici quelques citations de l'étude Delphi qui peuvent être rapportées à cette compétence. Ce verbatim permettra au lecteur d'interpréter plus exactement l'objet de cette compétence. Les références à la fin des citations sont relatives au document d'analyse qualitative.

- *Comprendre d'un point de vue scientifique et analytique le monde qui nous entoure. P 2: A-Savoir-2.txt - 2:19 [*

(41:41)

- *L'ingénieur doit être capable de s'adapter à son environnement et comprendre les métiers qui peuvent exister au sein d'une entreprise. P 2: A-Savoir-2.txt - 2:7 (15:15)*
- *On juge là l'aptitude d'un ingénieur à être rapidement opérationnel ainsi que sa capacité d'intégration dans l'entreprise. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:14 (21:21)*
- *S'adapter à n'importe quel environnement quelle que soit l'activité, grâce à ses solides connaissances pluridisciplinaires. P 21: C-Savoir_Etre-23.txt - 21:5 (17:18)*
- *S'adapter à n'importe quelle technologie grâce à ses sciences de base et sciences de l'ingénieur. Cette adaptabilité me paraît prioritaire face à un enseignement trop spécifique des technologies actuelles amenées à évoluer. P 21: C-Savoir_Etre-23.txt - 21:11 (31:32)*
- *Etre très solide dans la théorie permettra à chaque ingénieur d'absorber "facilement" tout nouveau sujet. P 7: A-Savoir-7.txt - 7:14 (36:37)*
- *Apprendre lorsque les connaissances font défaut. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:72 (55:55)*
- *S'entraîner à apprendre vite (et comprendre vite). P 21: C-Savoir_Etre-23.txt - 21:13 (34:35)*
- *Dans l'industrie, c'est ce que l'on attend des EPF's: comprendre vite. P 23: E-Remarques.txt - 23:13 (25:25)*
- *La formation connexe et les sciences humaines doivent être connues et l'ingénieur doit savoir où sont les références. P 1: A-Savoir-1.txt - 1:24 (37:37)*
- *Les sciences de base solides sont nécessaires pour développer la capacité à apprendre. P 21: C-Savoir_Etre-23.txt - 21:15 (37:37)*
- *capacité à synthétiser des situations complexes, à conceptualiser. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:22 (28:28)*
- *L'analyse de la demande et l'abstraction pour raisonner sur des schémas, des principes, se retrouvent plus souvent chez l'ingénieur EPF. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:18 (24:24)*
- *Les ingénieurs EPF et HES peuvent être dotés des mêmes savoir-faire. Ce qui les différencie c'est leur relation à la théorie, leur capacité d'abstraction. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:9 (15:16)*
- *Capacité à mettre en application ses connaissances P 22: D-StructureMA-24.txt - 22:3 (13:13)*
- *Capacité de communiquer son savoir. P 20: C-Savoir_Etre-22.txt - 20:13 (15:15)*
- *Etre un bon communicateur (langues importantes) pour pouvoir faire passer ses idées et aussi apprendre. P 5: A-Savoir-5.txt - 5:16 (16:16)*
- *La capacité de vulgariser d'être compris de tous. P 18: C-Savoir_Etre-20.txt - 18:1 (12:12)*
- *La maîtrise de l'écrit, synonyme d'esprit de synthèse, est une qualité discriminante mais qui se perd. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:15 (21:21)*
- *L'anglais est indispensable avec la mondialisation. L'allemand est un atout de poids en Suisse avec 80% de la population germanophone. Cette langue a aussi son pesant dans le domaine de la mécanique (Bosh, BMW, etc.). P 5: A-Savoir-5.txt - 5:7 (12:12)*
- *Bien savoir se vendre et vendre son travail. Dans la plupart des cas on n'est pas évalué sur le travail fourni mais comment on le présente!! P 10: B-Savoir_Faire-11.txt - 10:5. (13:13)*

Description des composantes, exemples de situation de formation et d'évaluation

| Composante | Description | Exemples de situation de formation | Exemples de situation d'évaluation (tâches et critères) |
|---|--|--|---|
| C1.1 - Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés | <p>Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés impliquent de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre des méthodes de recherche pour trouver de l'information pertinente - Analyser, abstraire, synthétiser - S'exercer et s'entraîner <p>Ceci est nécessaire pour acquérir et être capable de mobiliser ses connaissances (C1.1 et C1.3) mais également pour acquérir de nouveaux savoirs dans une situation nouvelle.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Organiser la formation aux méthodes d'apprentissage en collaboration avec le CRAFT pour proposer aux étudiants une réflexion sur leurs méthodes d'apprentissage avec la possibilité de tester différentes stratégies et de recevoir un feedback sur leurs propres méthodes et de développer un cadre de réflexion méthodologique ; ○ Organiser la formation aux méthodes de recherche en collaboration avec la bibliothèque centrale. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Des évaluations riches en feedback et des outils d'autoévaluation |
| C1.2 - Communiquer efficacement oralement et par écrit | <p>Les habiletés de communication sont essentielles à l'ingénieur. Ses messages doivent d'une part être précis et exacts et d'autre part être formulés de manière adéquate pour être pris en compte par ses destinataires. Ceci implique d'être capable d'expliquer des éléments complexes à des auditoires divers. Mais la communication est à double sens, il faut aussi savoir écouter et comprendre. Dans sa vie professionnelle, l'ingénieur sera amené à communiquer oralement et par écrit, en français, en anglais et aussi parfois en allemand.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ La participation comme présentateur à des séminaires dans lesquels l'étudiant doit présenter et expliquer des phénomènes et des concepts du génie mécanique, analyser, préparer et défendre des argumentations (journée des gymnasiens, journées portes ouvertes) ; ○ Lecture et présentation d'articles de revues professionnelles ; ○ Participation active à des réunions de projet. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Présentation de résultats de projet ○ Des évaluations riches en feedback et des outils d'autoévaluation. |
| C1.3 - Mobiliser et partager ses connaissances fondamentales de l'ingénierie | <p>Mobiliser des connaissances fondamentales implique de les avoir comprises et intégrées. Il y a un aspect de mémorisation et un aspect de compréhension. Partager ses connaissances nécessite en plus des habiletés de communication et de synthèse. Dans les connaissances fondamentales du Génie mécanique on peut distinguer les catégories suivantes : Mathématiques, Physique, Informatique, Chimie, Ingénierie, Technologie.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Un programme de cours cohérent au niveau cognitif, formateur au niveau intellectuel, exigeant au niveau de la maîtrise des savoirs, visant des niveaux élevés de la taxonomie de Bloom (Synthétiser et évaluer) ; ○ La participation à l'enseignement des branches fondamentales comme assistant-étudiant. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Des évaluations riches en feedback et des outils d'autoévaluation. |
| C1.4 – Comprendre son environnement professionnel, technologique, écologique et économique pour agir | <p>Identifier les éléments du contexte professionnel et leurs implications sur la pratique, le rôle de l'ingénieur dans ce contexte et les compétences clefs par rapport à un référentiel donné.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Stages ○ Conférences de professionnels | <ul style="list-style-type: none"> ○ Rapport de stage ○ Rédaction d'un projet professionnel ○ Rédaction d'une lettre de motivation |

Compétence 2 - A partir d'une réalité complexe, identifier, modéliser et analyser des problèmes en adoptant une approche scientifique, holistique et multidisciplinaire

Description

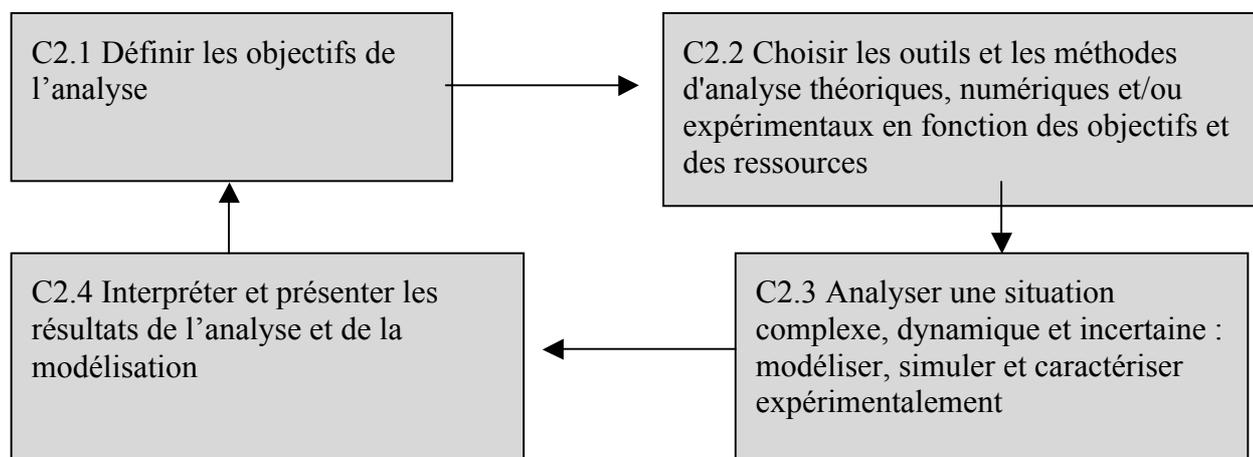
Une des compétences spécifiques de l'ingénieur mécanicien EPFL concerne l'analyse de situations complexes qui lui sont soumises. Pour ce faire, il va devoir faire appel à la 1^{ère} compétence décrite : comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique (C1→C2). Il va devoir également faire appel aux savoirs spécifiques de chacun des domaines du Génie mécanique. Analyser une situation complexe implique d'identifier, de modéliser et d'analyser des problèmes. L'ingénieur EPFL adoptera pour ce faire une approche scientifique, holistique et multidisciplinaire.

Par *scientifique*, on entend qu'il utilise des canons pour guider son processus de production des connaissances scientifiques, que ce soit pour des observations, des expériences, des raisonnements, ou des calculs théoriques. Il s'agit également qu'il se base sur des faits avérés et utilise des théories reconnues par la communauté scientifique en respectant la logique rationnelle et les principes de l'épistémologie.

Par *holistique*, on entend qu'il considère le problème sous ses différents aspects qui en plus d'être techniques et scientifiques sont aussi éthiques, économiques, politiques, environnementaux.

Par *multidisciplinaire*, on entend que l'analyse du problème et la recherche des solutions doivent être faites en considérant les apports des diverses disciplines des savoirs humains.

Composantes



Exemples de situation de formation pour développer cette compétence

- Exercices basé sur des cas pratiques
- Analyses de cas
- Atelier d'ingénierie inverse
- Projet de conception et de réalisation
- Apprentissage par problèmes
- Constitution d'un dossier personnel sur les méthodes de modélisation et d'analyse

Citations de l'Etude Delphi

- *Les ingénieurs EPF ont une vision globale et sont multidisciplinaires. Ils savent s'intégrer dans n'importe quel environnement. En revanche, leur approche reste très théorique. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:10 (17:17)*
- *Identifier les problèmes, synthétiser et analyser [] vision globale. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:30 (23:23)*
- *Celui de l'EPF est de mettre à contribution ses connaissances pour aborder des problèmes nouveaux ou pointus. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:30 (39:39)*

- *L'ing. EPF doit pouvoir conduire plus en profondeur la compréhension d'un problème. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:24 (30:30)*
- *Voir les différentes facettes du problème posé. Discuter de ces différentes facettes avec des experts spécialistes. Faire la synthèse et proposer une solution concrète et réaliste. La solution de l'ingénieur s'insère dans une problématique globale. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:29 (21:22)*
- *La vision globale est bien, mais le détail est essentiel à considérer ! P 17: C-Savoir_Etre-19.txt - 17:12 (39:40)*
- *Filtrer l'information essentielle (minimale) afin d'identifier la problématique principale du sujet. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:68 (53:54)*
- *Simplifier, par création de modèles d'étude. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:65 (50:50)*
- *Créer un modèle théorique du problème (mental ou avec support papier/outil informatique). P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:68 (53:54)*
- *Proposer diverses solutions valables. Choisir la solution optimum (rentable et efficace). Un ingénieur EPF est amené à résoudre des problèmes. Il doit être capable de proposer divers solutions en gardant une vision globale. Il ne doit pas être un simple exécutant. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:30 (23:23)*
- *Résoudre le problème et de synthétiser les résultats de la manière la plus simple possible pour atteindre les objectifs. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:56 (43:43)*
- *J'ai une préférence personnelle pour l'ing. qui voudra optimiser de manière empirique et mathématique. P11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:19 (26:26)*
- *L'EPF envisagera probablement un plus grand panel de méthodes de résolution, plus dans l'esprit de recherche. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:20 (27:27)*

Description des composantes, exemples de situation de formation et d'évaluation

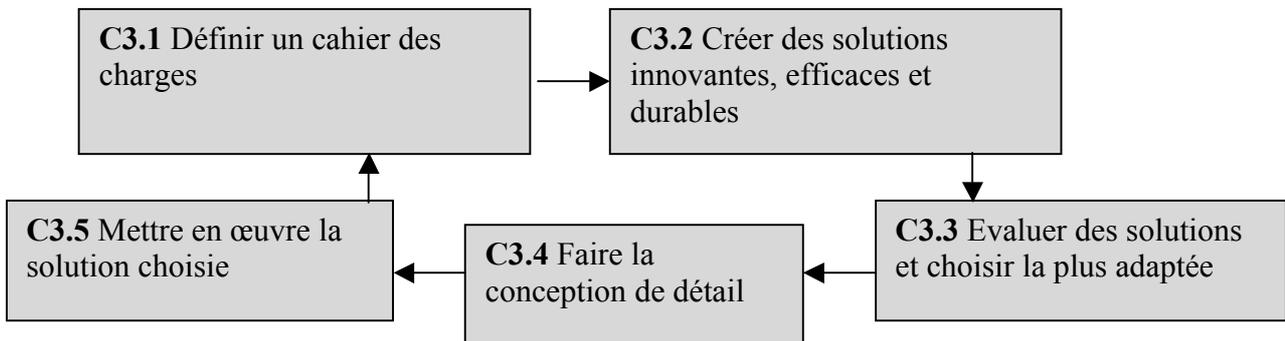
| Composante | Description | Exemples de situation de formation | Exemples de situation d'évaluation |
|---|---|---|---|
| C2.1 Définir les objectifs de l'analyse | Face à la situation, l'ingénieur définit les objectifs de l'analyse en abordant le problème dans une perspective holistique. 2.1.1 - Définir les objectifs d'analyse (intégrant la rédaction d'un cahier des charges propre à l'analyse) 2.1.2 - Choisir les modèles adéquats 2.1.3 - Définir des critères d'analyse à partir d'un cahier des charges | <ul style="list-style-type: none"> ○ Projets pratiques ○ Traduction d'un cahier des charges de performance en cahier des charges de mesure | <ul style="list-style-type: none"> ○ Description de projet ○ Analyse de projet d'un pair |
| C2.2 Choisir les outils et les méthodes d'analyse théoriques, numériques et/ou expérimentaux en fonction des objectifs et des ressources | L'ingénierie dispose d'un ensemble d'outils d'analyse théoriques, numériques ou expérimentaux. Ces outils doivent être utilisables par le jeune ingénieur, mais il doit aussi savoir prendre du recul par rapport à ces approches en tenant compte de leur précision et de leur coût opérationnel. De plus chaque domaine a des méthodes qui lui sont propres. On s'attend à ce que le jeune ingénieur connaisse l'existence de la majorité d'entre elles, surtout de celles qui sont utilisées actuellement et qu'il ait développé un savoir-faire sur un certain nombre d'entre elles. L'aspect méthodologique et la capacité d'analyse et de synthèse des résultats doivent primer sur les aspects de productivité et de technologie. Mais un minimum d'habileté est néanmoins attendu. L'ingénieur doit être capable d'effectuer un choix optimal dans les méthodes qu'il a à disposition, dans une perspective multidisciplinaire. 2.2.1 - Poser/extraire les hypothèses de modélisation adaptées 2.2.2 - Evaluer les exigences de la tâche (en termes de fonctionnalités, de capacité, de précision, de coût, de délais et de compétences) 2.2.3 - Choisir les méthodes et les outils en fonction des ressources | <ul style="list-style-type: none"> ○ Travaux pratiques ○ Projets pratiques ○ Stage en entreprise ○ Formation sur des outils spécifiques ○ Cours sur les méthodes d'analyse ○ Séminaires sur les technologies d'analyse | <ul style="list-style-type: none"> ○ Etude de cas requérant une comparaison entre diverses approches |
| C2.3 Analyser une situation complexe, dynamique et incertaine : modéliser, simuler et caractériser expérimentalement | La modélisation d'une situation permet de recomposer ce qui a été déduit de l'observation et de l'analyse pour induire des résultats et, complétant la boucle déduction/induction, de valider la compréhension du phénomène étudié par la correspondance entre ce qui est mesuré et ce qui est modélisé. La modélisation peut être numérique ou expérimentale. La compétence de modélisation, de simulation et de caractérisation expérimentale permet donc à l'ingénieur d'induire les principes d'un système réel ou imaginé pour comprendre son fonctionnement et ensuite de le prédire en fonction des paramètres qu'il aura eu soin de sélectionner. Il pourra ainsi par exemple dimensionner un système en fonction des besoins et des contraintes, identifier des causes de dysfonctionnement, optimiser le fonctionnement etc. Mais la compétence de modélisation concerne aussi la capacité de se faire un modèle mental du fonctionnement d'un système. 2.3.1 - Identifier le niveau de modélisation nécessaire au traitement du problème 2.3.2 - Construire, analyser et critiquer un modèle 2.3.3 - Maîtriser des outils d'analyse numériques et expérimentaux 2.3.4 - Choisir les éléments du système de manière à qualifier son comportement 2.3.5 - Effectuer une analyse de sensibilité du modèle et déterminer le niveau de confiance des résultats 2.3.6 - Valider les résultats d'une solution à partir d'une analyse dimensionnelle et des ordres de grandeur | <ul style="list-style-type: none"> ○ simulation ○ synthèse avec des cartes conceptuelles ○ Exercice de validation ○ ingénierie inverse ○ Construction d'un catalogue de solutions ○ Projets de conception et de réalisation | <ul style="list-style-type: none"> ○ Etudes de cas ○ Présentation de projets ○ Présentation d'un rapport d'analyse |
| C2.4 Interpréter et présenter les résultats de l'analyse et de la modélisation | L'ingénieur doit être capable à partir des données résultant de l'analyse d'inférer des informations qui doivent permettre de prendre des décisions. Il y a un effort nécessaire de traitement et de présentation des résultats. L'ingénieur doit aussi être capable d'évaluer les choix méthodologiques et valider les résultats en fonction des objectifs d'analyse et de modélisation. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Préparation d'un rapport d'analyse | <ul style="list-style-type: none"> ○ Présentation d'un rapport d'analyse |

Compétence 3 - Concevoir et mettre en œuvre des solutions innovantes, efficaces et durables dans une perspective d'entreprise et/ou de recherche

Description

La conception est une compétence centrale de l'ingénieur EPFL. Il doit être à même de concevoir des solutions innovantes et durables, ce qui implique dans un premier temps de concevoir des systèmes, des produits et des dispositifs technologiques et ensuite de mettre en œuvre la solution conçue (C3.1 → C3.2). Pour ce faire, l'ingénieur EPFL aura dû mettre en œuvre la compétence de résolution de problème qui l'aura amené à proposer des solutions de conception (C2 → C3). Concevoir et mettre en œuvre nécessitent la gestion de projet et la gestion d'une équipe (C3 → C4).

Composantes



Exemples de situation de formation pour développer cette compétence

- Atelier d'ingénierie inverse
- Projet de conception
- Séminaire d'étude de cas

Citations de l'Etude Delphi

- *L'innovation et la conduite de projets seront des moteurs aux succès de l'intégration.* P 14: C-Savoir_Etre-16.txt - 14:13 (42:42)
- *Il doit être le moteur créatif de l'entreprise.* P 9: B-Savoir_Faire-10.txt - 9:5 (11:11)
- *Savoir faire appel à des solutions innovantes, mettre en œuvre/piloter les mises en œuvre.* P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:73 (56:56)
- *Savoir estimer les risques et prendre des décisions.* P 16: C-Savoir_Etre-18.txt - 16:1 (12:12)

Description des composantes, exemples de situation de formation et d'évaluation

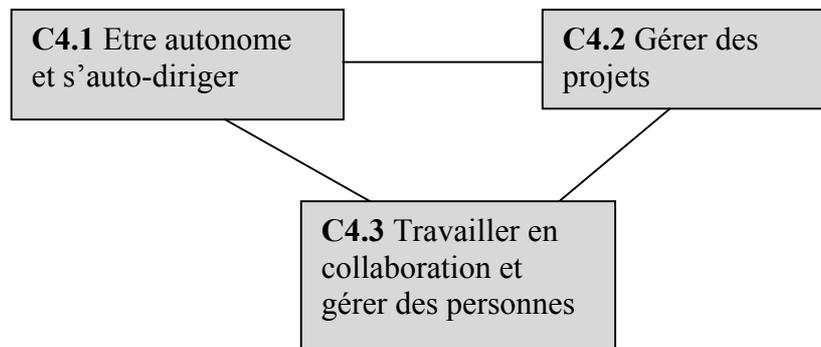
| Composante | Description | Exemples de situation de formation | Exemples de situation d'évaluation |
|---|--|--|---|
| C3.1 Définir un cahier des charges | <p>L'ingénieur doit être capable de traduire les besoins et les attentes de son client en termes de spécifications.</p> <p>3.1 1 - Analyser/écouter la demande d'un client</p> <p>3.1 2 - Comparer des produits concurrents en termes de performances, de technologie et de coût et spécifier le cahier des charges de performances d'un produit amélioré ou nouveau</p> <p>3.1 3 - A partir d'un cahier des charges de performances, rédiger le cahier des charges spécifique</p> <p>3.1 4 - Identifier les éléments critiques d'un produit pour la détermination des normes à respecter en fonction de son usage</p> <p>3.1 5 - Retrouver les normes dans les documents professionnels</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Atelier d'ingénierie inverse ○ Projet de conception ○ Etude et présentation de cas ○ Cours de conception ○ Visites d'installations ○ Projet de construction ○ Atelier d'usinage ○ Stage en entreprise | <ul style="list-style-type: none"> ○ Présentation de projet ○ Présentation de cas ○ Rapport de stage ○ Rapport de visite ○ Examen théorique sur les notions du domaine |
| C3.2 Créer des solutions innovantes, efficaces et durables | <p>Au cœur des compétences attendues de l'ingénieur est sa capacité à créer des solutions. Ces solutions doivent répondre aux besoins du client et respecter les contraintes en termes de durabilité.</p> <p>3.2 1 - Rédiger, à partir d'un cahier des charges la liste des fonctions d'un produit existant ou à concevoir</p> <p>3.2 2 - Choisir des solutions de principe correspondantes en termes de performances, de technologie et de coût.</p> <p>3.2 3 - Identifier les composants et les solutions de principe permettant de réaliser une fonction du cahier des charges</p> | | |
| C3.3 Evaluer des solutions et choisir la plus adaptée | <p>Il est essentiel pour l'ingénieur de travailler à partir d'un catalogue de solutions et de ne pas arrêter sa réflexion à la première solution possible. Cette composante est en relation directe avec la C3.1, car elle sera dépendante de la qualité du cahier des charges. L'évaluation passera par ailleurs par une analyse des situations (C2).</p> <p>3.3.1 - Effectuer une analyse multicritères des solutions</p> | | |
| C3.4 Faire la conception de détail | <p>Il s'agit de concevoir la géométrie, le fonctionnement et le contrôle d'un bien ou d'un service, de le dimensionner et de valider sa conception.</p> <p>3.4 1 - Dimensionner un mécanisme selon un cahier des charges en utilisant les outils appropriés</p> <p>3.4 2 - Utiliser un système de gestion technique dans un projet de conception</p> <p>3.4 3 - Représenter les contraintes normatives sur le dessin</p> <p>3.4 4 - Concevoir et évaluer des mécanismes</p> <p>3.4 5 - Choisir un matériau et les traitements en fonction de son usage, de sa performance et son adéquation au mode de fabrication du produit final</p> | | |
| C3.5 Mettre en œuvre la solution choisie | <p>Il s'agit de rendre réel le système planifié.</p> <p>3.5.1 - Choisir les procédés et la gamme de fabrication d'une pièce selon son cahier des charges et le plan de détail</p> <p>3.5.2 - Choisir un type de machine en fonction des caractéristiques fonctionnelles de la pièce à fabriquer et des performances visées</p> <p>3.5.3 - Appliquer les méthodes usuelles de logistique dans des cas d'études spécifiques</p> | | |

Compétence 4 – Gérer des activités, des projets et des personnes

Description

Cette compétence transversale est également très importante dans le parcours de l'ingénieur EPFL. Elle intervient dans la mise en œuvre des trois premières compétences. Elle renvoie à la **capacité de gestion** de l'ingénieur relativement à son fonctionnement propre, aux projets qu'il est amené à développer et aux personnes avec qui il est amené à collaborer, voire à superviser.

Composantes



Exemples de situation de formation pour développer cette compétence

- Stage
- Projet
- Partage d'expérience d'experts (de la part des enseignants, des conseillers et des professionnels de terrain)

Citations de l'Etude Delphi

- *Il est préférable qu'il ait une certaine autonomie. P 8: A-Savoir-8-9.txt - 8:38 (55:55)*
- *Une indépendance d'esprit est utile au développement de son équilibre personnel et évite toute manipulation psychologique. P 17: C-Savoir_Etre-19.txt - 17:2 (12:12)*
- *Changements durables. P 20: C-Savoir_Etre-22.txt - 20:29 (37:37)*
- *Connaître ses valeurs, les mettre en pratique est donc se connaître soi-même. d) peut être pris comme très positif ou très négatif...A quoi est-on prêt pour satisfaire son ambition? P 16: C-Savoir_Etre-18.txt - 16:10 (25:25)*
- *Remise en question et prise de recul. Il est essentiel de savoir se remettre en question. Il est important de savoir prendre du recul et ne pas se noyer dans les détails. P 17: C-Savoir_Etre-19.txt - 17:3 (15:15)*
- *Apprendre à gérer les "échecs" (problèmes, imperfections face à la recherche d'une solution) P 20: C-Savoir_Etre-22.txt - 20:22 (25:25)*
- *L'ingénieur EPF doit avoir les compétences pour gérer des projets multidisciplinaires. P 11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:11 (18:18)*
- *La planification et l'organisation ont un rôle essentiel dans le traitement d'un problème multidisciplinaire. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:56 (43:43)*
- *Définir les ressources nécessaires à la réalisation du projet (ou la résolution au problème). P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:56 (43:43)*
- *Respecter les détails et échéances en faisant preuve d'une bonne capacité à gérer un projet dans le temps. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:48 (39:39)*
- *Gérer un projet du début à la fin, concevoir et analyser les solutions pour qu'elles répondent aux besoins de son client, tout en étant possible de les produire au moindre coût. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:62 (48:48)*
- *Analyser les besoins de son client, les comprendre, les critiquer et les traduire en termes techniques. Identifier les obstacles, les anticiper. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:61 (48:48)*
- *L'ingénieur doit travailler en team, doit diriger un groupe, ou encore sera un jour manager, et les relations humaines seront alors le focus de son activité. P 2: A-Savoir-2.txt - 2:22 (46:46)*
- *Aptitude à manager une équipe et à la motiver. P 5: A-Savoir-5.txt - 5:33 (32:32)*
- *Diriger et coordonner une équipe ou un projet de recherche interdisciplinaire. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:46 (38:38)*
- *La capacité d'écoute est primordiale, notamment dans la résolution des conflits. P 18: C-Savoir_Etre-20.txt - 18:5 (20:20)*

- *La collaboration basée sur des valeurs de savoir-être est essentielle pour mener à bien des projets ou pour le travail de tous les jours.* P 14: C-Savoir_Etre-16.txt - 14:3 (15:15)
- *Gérer efficacement des informations provenant de milieux et / ou personnes différentes parfois contradictoires.* P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:21 (18:18)
- *Tenir compte de l'opinion de tout le monde, savoir faire la synthèse des différents apports, y compris ceux des « guru » de l'esthétisme. [] Parler la langue de tous les intervenants (p. ex. dans le domaine du chauffage, il faut savoir parler la langue des ingénieurs civils et des architectes). Des ingénieurs intégristes n'aident personne et surtout pas l'entreprise.* P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:74 (57:57)
- *Connaître un minimum la culture des personnes étrangères.* P 20: C-Savoir_Etre-22.txt - 20:9 (12:13)
- *L'écoute et la collaboration sont importants dans un premier temps afin d'acquérir une vision globale du sujet.* P 19: C-Savoir_Etre-21.txt - 19:11 (33:33)
- *Comprendre les problèmes des autres disciplines. Communiquer et expliquer aux autres disciplines ses propres problèmes. Avoir une approche ouverte et objective des problèmes.* P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:66 (51:52)
- *L'écoute est primordiale pour faire la synthèse de plusieurs points de vue de manière objective et pour ne pas penser à côté d'idées nouvelles.* P 18: C-Savoir_Etre-20.txt - 18:8 (32:33)
- *La capacité à débattre est indispensable à un niveau managérial comme le mien pour faire accepter des compromis.* P 18: C-Savoir_Etre-20.txt - 18:9 (33:33)

Description des composantes, exemples de situation de formation et d'évaluation

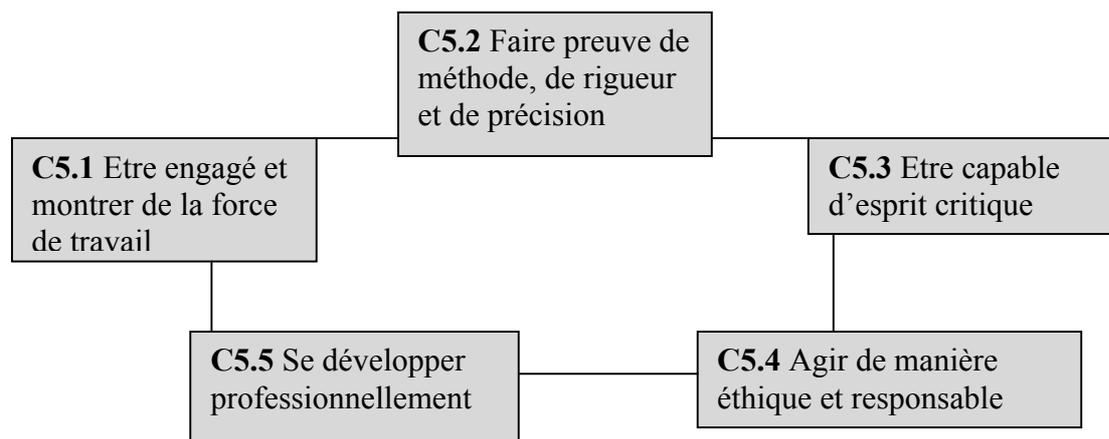
| Composante | Description | Exemples de situation de formation | Exemples de situation d'évaluation (tâches et critères) |
|---|---|--|---|
| Etre autonome et s'auto-diriger | <p>Dans son travail, l'ingénieur est amené à prendre des décisions sur des solutions techniques, opérationnelles et assez rapidement aussi organisationnelles. Ses décisions auront des tenants et des aboutissants technologiques, sociaux, économiques, environnementaux etc.</p> <p>L'autonomie va permettre à l'ingénieur de prendre part à l'analyse de la situation et à la prise de décision en mettant à sa juste place les aspects objectifs et les aspects subjectifs sans être dupe de son environnement. Il évitera ainsi la manipulation.</p> <p>Mais l'autonomie a aussi une composante « énergétique » permettant à l'ingénieur de s'auto-diriger et de s'auto-motiver, ce qui lui permettra d'être un promoteur innovant pour mettre en œuvre les projets qu'il aura endossés.</p> <p>Cette autonomie et auto-direction renvoient également à la capacité de gérer son fonctionnement propre.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Etablissement et analyse d'un catalogue de solutions ○ Comparaison de solutions techniques ○ Exercice d'argumentation ○ Analyse épistémologique | <ul style="list-style-type: none"> ○ Interaction avec le superviseur lors d'un projet ○ Interaction avec le superviseur lors d'un stage ○ Journal de laboratoire |
| Gérer des projets | <p>Dans sa vie professionnelle, l'ingénieur EPFL sera amené à gérer des projets. Il va être amené à définir des objectifs, planifier les actions et prévoir les ressources nécessaires, à organiser et contrôler le travail et les interactions des intervenants. Il va aussi devoir documenter ce qui est réalisé. Pour ces différentes tâches, une capacité de leadership est nécessaire.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Projet de semestre ○ Séminaire de formation ○ Portfolio de projet | <ul style="list-style-type: none"> ○ Journal de laboratoire ○ Rapport de projet ○ Portfolio de projet |
| Travailler en collaboration et gérer des personnes | <p>Le travail de l'ingénieur est dans la plupart des cas un travail collaboratif. Dans cette collaboration, l'ingénieur aura à occuper des rôles très différents tels que celui de membre de l'équipe, de spécialiste, de leader de projet, de gestionnaire, de client, de fournisseur etc. Il doit développer des compétences d'ordre interpersonnel et de gestion de personnes.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Participation à un projet d'ingénierie avec différents rôles ○ Développement d'un portfolio de compétences de collaboration ○ Projet collaboratif ○ Participation à l'enseignement comme assistant-étudiant | <ul style="list-style-type: none"> ○ Réunion de projet ○ Portfolio de projet |

Compétence 5 - Agir en professionnel(le) responsable

Description

Cette compétence fondamentale renvoie au développement d'attitudes professionnelles propres à l'ingénieur EPFL contribuant à la **qualité du travail** : être engagé et montrer de la force de travail, faire preuve de méthode, de rigueur et de précision, être capable d'esprit critique, agir de manière éthique et responsable, se développer professionnellement. Ces attitudes sont fondamentales et interviennent dans la qualité de mise en œuvre des autres compétences.

Composantes



Exemples de situation de formation pour développer cette compétence

- Stage
- Projet
- Partage d'expérience d'experts (de la part des enseignants, des conseillers et des professionnels de terrain)

Citations de l'Etude Delphi

- *Lorsque l'ingénieur débute (sans expérience), il doit pour convaincre justifier de façon parfaitement logique ses propositions. Un esprit rationnel est donc la qualité prioritaire à développer. P 17: C-Savoir_Etre-19.txt - 17:4 (19:19)*
- *L'esprit critique et la curiosité sont les fondations de notre métier, de même que l'esprit d'innovation. P 14: C-Savoir_Etre-16.txt - 14:10 (34:35)*
- *Le comportement avec les collègues est important et peut grandement influencer la réussite (ou non) d'un projet. Seul l'esprit critique et la curiosité font avancer les choses dans le bon sens. P 14: C-Savoir_Etre-16.txt - 14:2 (12:12)*
- *La capacité à faire une bonne critique d'une situation donnée est liée à une réelle volonté de recherche d'une cohérence transversale. Cette transversalité est atteinte par la curiosité envers d'autres cultures par exemple. P 17: C-Savoir_Etre-19.txt - 17:7 (24:24)*
- *Préserver la sécurité et santé des ressources humaines allouées au problème à traiter, ainsi que la préservation de l'environnement. Globalement bonne maîtrise des aspects HSE (hygiène, sécurité, environnement). P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:50 (39:40)*
- *Tout ingénieur a la responsabilité d'exercer son métier au meilleur de ses connaissances pour le bien d'autrui et de la société en général. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:1 (12:12)*
- *Les valeurs éthiques donnent confiance et rendent les travaux/comportement crédibles et acceptés. P 14: C-Savoir_Etre-16.txt - 14:11 (39:40)*
- *Si le jeune ingénieur entend bien commencer dans une entreprise, le respect d'autrui est essentiel. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:2 (16:16)*
- *Il faut savoir respecter tout le monde même ceux que l'on aime pas. La santé de l'entreprise passe aussi par de bons contacts externes. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:4 (20:20)*
- *Aujourd'hui, on ne peut plus concevoir un bien ou service sans se poser la question de son effet sur l'environnement et la société. Il est capital, pour l'avenir, de savoir évaluer l'impact de nos gestes et de nos conceptions sur l'environnement, et d'en minimiser les effets. L'ing. a un pouvoir incroyable dans ce domaine, il est indispensable que*

- le jeune ingénieur en soit sensibilisé aussi vite que possible. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:7 (31:31)*
- *Dans le monde de l'entreprise actuel, la normalisation (ISO 9001, 14001,...) nous rappelle tous les jours les devoirs que nous avons vis-à-vis des actionnaires, des clients, des collègues, de l'environnement, etc.... Nous devons tout faire pour que nos compétences et comportements nous permettent d'organiser ou de diriger les tâches qui nous incombent dans le sens du développement durable des entreprises. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:8 (33:33)*
 - *La société (y compris l'environnement), les collègues et l'entreprise (avec laquelle un rapport de confiance est indispensable) méritent tout respect même au delà des aspects purement de gain. P 15: C-Savoir_Etre-17.txt - 15:10 (38:38)*
 - *La prise de décision en tenant compte des valeurs éthiques et persévérer font des vrais leaders qui apportent des changements durables. P 20: C-Savoir_Etre-22.txt - 20:29 (37:37)*
 - *Se former, apprendre des autres et de ses erreurs, s'améliorer sans cesse. Transmettre son savoir acquis. P 12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:63 (48:48)*

Description des composantes, exemples de situation de formation et d'évaluation

| Composante | Description | Exemples de situation de formation | Exemples de situation d'évaluation (tâches et critères) |
|--|--|---|--|
| 5.1 Etre engagé et montrer de la force de travail | Etre capable de mobiliser son énergie pour résoudre les problèmes, surmonter les embûches, réaliser ce qui a été planifié. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Projet permettant de s'appropriier ses propres ressources et de valider leur effectivité ○ Projet de réalisation | <ul style="list-style-type: none"> ○ Cahier de projet ○ Réunion de projet |
| 5.2 Faire preuve de méthode, de rigueur et de précision | Accomplir ses tâches dans le respect des règles de l'art et des standards de précision et de qualité. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Travaux pratiques ○ Rédaction d'une note technique ○ Analyse d'erreur | <ul style="list-style-type: none"> ○ Analyse d'un point de détail |
| 5.3 Etre capable d'esprit critique | Faire preuve de sens physique et de bon sens et être capable de relier une assertion avec des principes de base de la science et de l'ingénierie. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Etudes de cas ○ Recevoir un feedback sur son ingénierie par un praticien ○ Enseignement par problèmes | <ul style="list-style-type: none"> ○ Analyse d'une controverse ○ Préparation et présentation d'un argumentaire |
| 5.4 Agir de manière éthique et responsable | Résoudre les dilemmes éthiques et déontologiques qui se présentent dans sa pratique selon un processus de prise de décision éthique et évaluer ses choix en regard des valeurs et des normes de pratique de la profession. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Jeu de rôle ○ Assumer une responsabilité pour la communauté comme délégué par exemple ○ Etude de cas | <ul style="list-style-type: none"> ○ Préparation et présentation d'un argumentaire ○ Etude de cas |
| 5.5 Se développer professionnellement | Faire en sorte de poursuivre le développement de ses compétences, en évaluant régulièrement ses besoins, en cherchant des moyens de développement et notamment à travers la participation à des réseaux de professionnels. Se préoccuper de son employabilité. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Faire un bilan de compétences | <ul style="list-style-type: none"> ○ Jeu de rôle ○ Rédaction et présentation de son CV |

Les domaines spécifiques et contributifs de la SGM

Le programme d'enseignement du Génie mécanique est structuré au niveau du master en 6 filières. Ces filières permettent aux étudiants de profiler légèrement leurs compétences en fin de formation par rapport à 6 domaines professionnels. Il ne s'agit pas de spécialisation. Ces domaines spécifiques ont été repris pour structurer l'analyse des compétences et particulièrement leur encrage dans des acquis d'apprentissage. Ces domaines offrent donc des opportunités plus ou moins riches.

A ces domaines spécifiques, il est nécessaire d'ajouter des domaines contributifs. Il s'agit d'une part des domaines de base de la formation polytechnique et d'autre part du domaine dit transversal qui regroupe les savoirs connexes et les sciences de l'ingénieur. Le tableau ci-dessous présente la situation.

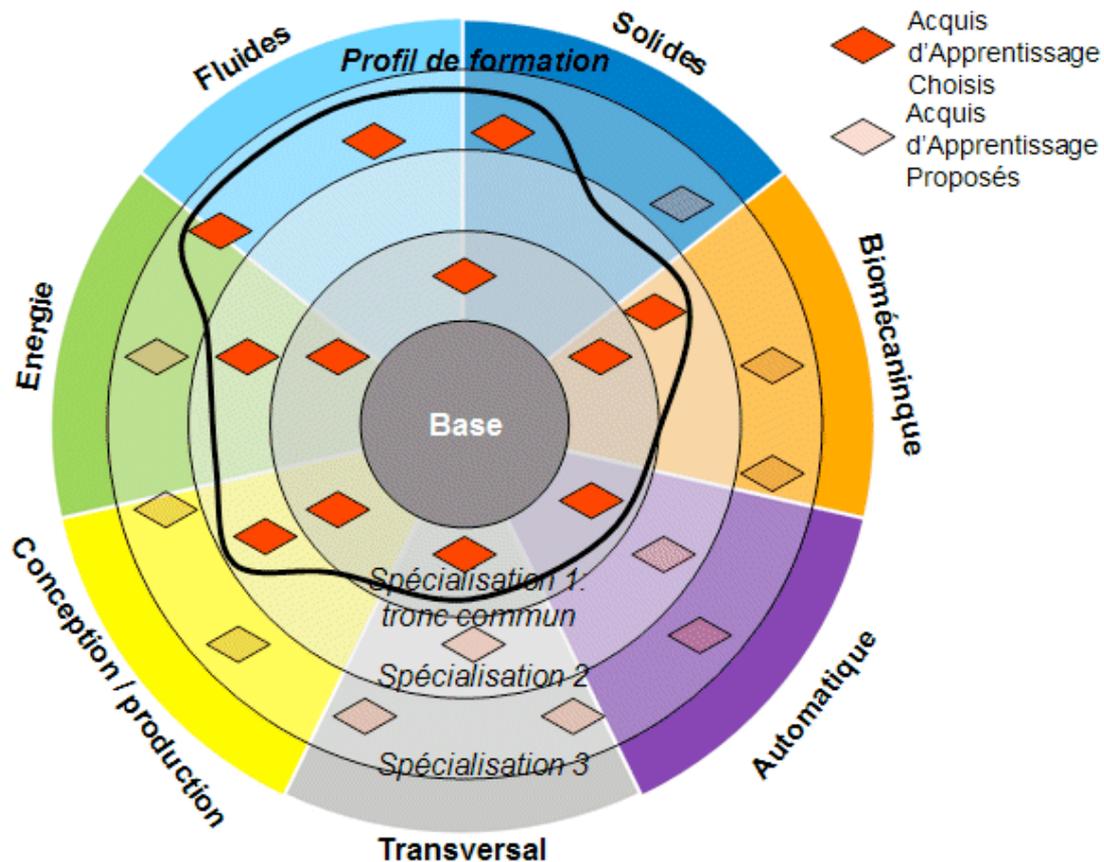
| Domaines contributifs | Domaines spécifiques |
|---|--|
| <p><i>Domaine de base :</i></p> <p>Sciences de base</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mathématiques ○ Physique ○ Chimie ○ Biologie/sciences de la vie ○ Informatique <p><i>Domaine transversal :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Savoirs connexes (juridiques, économiques) ○ Sciences humaines et sociales (SHS) ○ Sciences de l'ingénieur (gestion de projet, méthodes numériques, représentation technique, aspect expérimental) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Aéro-hydrodynamique (Fluides) 2. Mécanique des solides et des structures (Solides) 3. Biomécanique 4. Automatique et mécatronique (Automatique) 5. Energie 6. Conception et production |

Le schéma ci-dessous illustre comment ces domaines peuvent intervenir dans la formation du jeune ingénieur EPFL et parallèlement dans l'organisation du plan d'études.

Le schéma présente sous la forme de cercles concentriques des niveaux de spécialisation correspondant pour chaque domaine à une progression dans les savoirs et les savoir-faire allant des notions les plus génériques au centre aux plus spécifiques sur l'extérieur. Les losanges représentent des acquis d'apprentissage dont le transfert est prévu par le programme dans le cadre des activités d'apprentissage (cours, projets, stages).

L'espace encadré par la ligne grasse en contenant les « acquis d'apprentissage choisis » en rouge représente le « profil de formation » d'un étudiant spécifique, autrement dit son programme individuel.

Si on rentre dans le détail des niveaux de spécialisation, ce profil de formation contient l'ensemble des acquis de la formation de base et du niveau de spécialisation 1 qui doit correspondre aux acquis d'apprentissage génériques de tous les étudiants ingénieurs de l'EPFL et aussi les acquis reconnus comme essentiels pour tout étudiant du génie mécanique. Il s'agit donc par exemple des éléments d'analyse mathématique, de physique pour la base, et pour le niveau 1, citons comme exemple la statique et la cinématique.

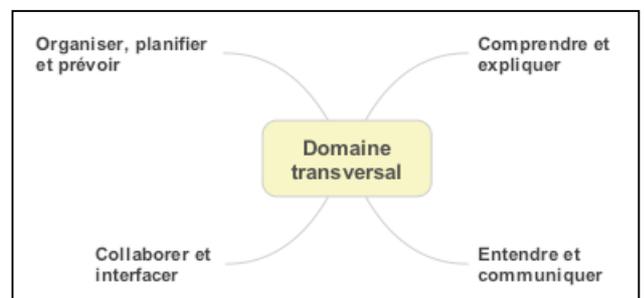


Domaine transversal

Le domaine transversal réunit les éléments importants pour la formation de l'ingénieur, mais qui se retrouvent dans des thématiques diverses et variées qui ne sont pas propres au génie mécanique mais jouent un rôle essentiel dans sa réussite. L'objectif de les réunir en un domaine, ce qui est un artefact, est de préserver à ce niveau de présentation l'approche modulaire de notre analyse.

Concepts centraux

On trouvera dans ce domaine les compétences de base d'apprentissage, les bases polytechniques qui regroupent les savoirs et savoir-faire en mathématiques, physique, informatique, technologie nécessaires à tout ingénieur polytechnicien. Dans cet agrégat, on trouvera aussi les éléments liés à la communication, à l'organisation, à la gestion, des savoirs et savoir-être permettant de soutenir des qualités telles que la rigueur ou la curiosité intellectuelle nécessaires à l'ingénieur et au chercheur et lui permettant de développer des attitudes professionnelles idoines.



Même si ces compétences sont avant tout des éléments facilitateurs pour les domaines propres du génie mécanique, ils peuvent représenter des compétences clés pour un profil de jeune diplômé. En effet, savoir gérer un projet, par exemple, ou savoir communiquer des éléments technologiques à des publics spécialisés ou non peuvent constituer des objectifs de formation valables et assurer une employabilité certaine. Donc suivant ces objectifs, un étudiant pourra souhaiter approfondir ses compétences dans ce domaine.

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Compétences mises en œuvre | Domaines concernés |
|---|---|--|
| <p><i>Ingénieur en charge du marché et de la vente et de l'après-vente</i></p> <p>Cet ingénieur travaillant à l'interface entre le marché et l'entreprise assiste de ses compétences et connaissances techniques une entité commerciale pour analyser les besoins des clients potentiels, définir les produits et les clients et participer à la vente. Dans ces différentes étapes, il aura la responsabilité des aspects techniques et technologiques</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C1</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C4, C5</p> | <p><i>Tous les secteurs technologiques :</i></p> <p><i>Energétique, installation technique, automobile, aviation, production, etc.</i></p> |
| <p><i>Ingénieur « conseiller d'entreprise »</i></p> <p>Assister une entité de management pour prendre des décisions dans lesquelles l'aspect technologique est essentiel</p> | <p><i>Compétences principale :</i> C1, C2</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C4, C5</p> | <p><i>Tous les secteurs économiques</i></p> |
| <p><i>Ingénieur chef de service</i></p> <p>Assister, voire diriger, un service d'une administration pour prendre des décisions dans lesquelles l'aspect technologique est essentiel</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C1</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C4, C5</p> | <p><i>Services industriels</i></p> <p><i>Administration fédérale, cantonale et communale</i></p> |
| <p><i>Ingénieur de projet</i></p> <p>Cet ingénieur assiste l'ingénieur chef de projet pour la planification et le contrôle du projet</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C1</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C4, C5</p> | <p><i>Grands projets</i></p> |

Domaine spécifique « Mécanique des solides et des structures »

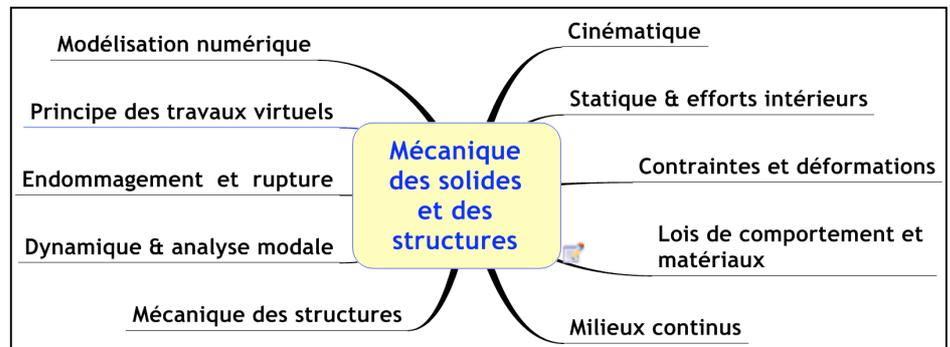
Questions centrales et problématiques

La mécanique des solides et des structures est la partie de la mécanique qui s'intéresse au comportement des objets solides, généralement déformables, que l'on ne peut réduire en un point matériel. La problématique de base de ce domaine est de comprendre, modéliser et analyser le comportement des solides déformables et de leurs assemblages (structures) dans le but de prédire leurs limites de fonctionnement et d'optimiser leurs performances.

Concepts centraux

Les disciplines et concepts centraux de la mécanique des solides et des structures sont, dans un ordre de complexité croissant :

- La cinématique : représentation du mouvement des objets solides et de points matériels.
- La statique : étude de l'équilibre et du cheminement des forces à l'intérieur d'un solide.
- Les concepts de contrainte et de déformation : représentation des efforts perçus par le matériau et de l'état de déformation qui en résulte.



- Mécanique des milieux continus : représentation unifiée du comportement mécanique des matériaux solides et fluides considérés comme continus à l'échelle macroscopique.
- Lois de comportement : représentation du comportement des matériaux sous la forme de modèles mathématiques reliant essentiellement les tenseurs de contraintes et de déformations et/ou leurs taux de variation.
- Principe des travaux virtuels et approches énergétiques : représentation de l'évolution mécanique d'un solide déformable sous la forme d'un équilibre de grandeurs énergétiques globales, servant de base à de nombreux modèles analytiques et numériques approchés.
- Mécanique des structures : étude du comportement, de la résistance et de la stabilité des éléments de construction classiques (barres, poutres, plaques, coques) et de leurs assemblages (structures).
- Dynamique des structures : étude du comportement dynamique et vibratoire des structures continues ou discrètes, abordant notamment les équations dynamiques du mouvement ainsi que les concepts de résonance, de fréquences propres, de modes de vibrations propres et d'amortissement.
- Endommagement et rupture : étude des comportements irréversibles menant à la dégradation progressive des propriétés d'une structure et à sa ruine totale ; étude notamment de la stabilité et de la propagation de fissures dans les structures ainsi que de la durée de vie d'un composant mécanique.
- Modélisation numérique / simulation : représentation et prédiction du comportement de structures complexes et non linéaires à l'aide d'outils numériques, principalement basés sur la méthode des éléments finis et le principe des travaux virtuels.

Domaines d'applications et perspectives

De par son caractère très central dans la mécanique, la mécanique des solides et des structures est une discipline qui touche la majorité des domaines professionnels de l'industrie. En effet, de nos jours, tout nouveau développement de produit requiert à un moment ou un autre l'application des principes enseignés en mécanique des solides, que ce soit dans la planification du développement, dans la phase de

conception, d'analyse et même de la certification des produits. La mécanique des solides est notamment appliquée dans les domaines professionnels liés aux transports (automobile, transports publics, nautique), à l'aérospatiale (aviation, lanceurs, satellites), à la production d'énergie (turbines, centrales, éoliennes), aux technologies sportives, au domaine biomédical (implants, appareils), aux technologies des matériaux (matériaux composites), aux méthodes et outils de production (machines, procédés, outils).

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétences mises en œuvre | Domaines concernés |
|--|---|--|
| <p><i>Ingénieur analyste</i></p> <p>Analyser, par des méthodes analytiques, numériques ou expérimentales appropriées, une pièce mécanique pour en déterminer ses performances, sa fiabilité et sa durée de vie ; optimiser la pièce pour améliorer ses performances ou réduire son coût.</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C2</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C4, C3</p> | <p><i>Mécanique des solides/structures</i></p> <p><i>Conception et production</i></p> <p><i>Biomécanique</i></p> |
| <p><i>Ingénieur assurance qualité</i></p> <p>Tester une structure mécanique (p. ex. châssis de véhicule) en statique et/ou en dynamique pour vérifier si ses performances et son comportement mécanique correspondent au cahier des charges et/ou aux analyses numériques effectuées préalablement.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C2 et C4</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C3</p> | <p><i>Mécanique des solides/structures</i></p> <p><i>Conception et production</i></p> <p><i>Biomécanique</i></p> |
| <p><i>Ingénieur méthodes</i></p> <p>Caractériser à l'aide d'essais mécaniques adéquats les critères de résistance et la loi de comportement d'un matériau innovant (p. ex. pour un implant biomédical) et implémenter cette loi de comportement dans une méthode de simulation analytique ou numérique appropriée.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C2 et C3</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C4</p> | <p><i>Mécanique des solides/structures</i></p> <p><i>Biomécanique</i></p> <p><i>Conception et production</i></p> |
| <p><i>Ingénieur chef de projet</i></p> <p>Etablir un projet de recherche et développement en se basant sur une étude détaillée de l'état de l'art et des technologies : proposition de solutions novatrices ; définition d'objectifs ambitieux mais atteignables ; choix de critères d'évaluation et de méthodes d'analyse / synthèse appropriées, planification optimale et présentation / défense du projet au près de la direction, de financiers externes ou de clients ; maintien de l'organisation, de la bonne communication et de la documentation du projet ; vérification du bon respect des standards éthiques, écologiques, législatifs et techniques.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C1, C4, C3</p> <p><i>Compétence secondaire :</i> C2</p> | <p><i>Transversal</i></p> |

Prérequis (income)

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaire | Cours offrant cet apprentissage |
|--------------------------|--|--|
| <i>Mathématiques</i> | <i>Analyse dans R, analyse complexe et analyse vectorielle (intégration, différentiation, équations différentielles, transformées de Fourier, de Laplace...) Algèbre linéaire (résolution de systèmes, opérations matricielles, valeurs propres, rang, ...) Analyse tensorielle, approches variationnelles Géométrie euclidienne, vectorielle et paramétrique Analyse numérique (interpolation, intégration, différentiation, résolution de systèmes linéaires, problèmes aux valeurs propres) Optimisation (systèmes continus différentiables) Statistique, estimation d'erreur, probabilités</i> | <i>A compléter lors de la finalisation du plan d'étude</i> |
| <i>Physique</i> | <i>Mécanique newtonienne Cinématique et dynamique du point et du solide indéformable, travaux virtuels Propagation d'ondes Optique, physique des solides, thermodynamique</i> | |
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale (potentiels électrochimiques, acides/bases, réactions RedOx, corrosion, chimie organique)</i> | |
| <i>Matériaux</i> | <i>Matériaux métalliques (microstructure, diagramme de phase, structure cristalline, grains et dislocations) et polymères (principes, types et technologies) Technologie des matériaux composites</i> | |
| <i>Electricité</i> | <i>Circuits électriques DC / AC, circuits RLC, électrotechnique, électronique, machines électriques</i> | |
| <i>Informatique</i> | <i>Utilisation des outils bureautiques, programmation (...)</i> | |
| <i>Science de la vie</i> | <i>Physiologie, biologie, anatomie, structure et composition des principaux tissus</i> | |

Domaine spécifique « Conception et Production »

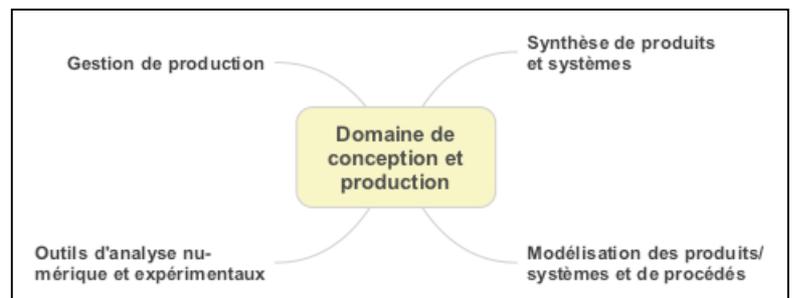
Questions centrales et problématiques

Le domaine de conception et production est la partie du génie mécanique qui s'intéresse à modéliser, concevoir et optimiser toutes les phases du cycle de vie (extraction de matériaux, conception, fabrication, distribution, utilisation, maintenance, traitement de fin de vie) des produits/systèmes et des services. Le but de la conception est de développer un produit ou système satisfaisant un cahier des charges qui réponde à la demande d'un client en considérant l'ensemble de son cycle de vie. Les produits/systèmes et/ou services sont conçus, modélisés et optimisés en invoquant des critères de performances, technologiques, économiques et environnementaux. La production au sens large a pour but de concevoir, de gérer et d'optimiser de manière continue des systèmes de fabrication, assemblage, stockage, transport et manutention, désassemblage et recyclage de produits. Tout comme la conception de produit, les activités liées à la production des produits doivent prendre en compte les aspects technologiques, humains, organisationnels, économiques et environnementaux. De façon plus abstraite, on peut considérer la conception et la production de la façon suivante. On peut définir la conception comme un processus itératif à la fois d'analyse et de synthèse pour arriver à la création d'un produit ou d'un système dont les performances sont spécifiées sous certaines contraintes et peuvent être prédites au moyen d'outils scientifiques. Par production, on entend l'ensemble des activités qui permettront de passer du produit virtuel ou du prototype de validation au produit commercialisable répondant à tous les critères fonctionnels économiques et environnementaux. Les deux démarches sont étroitement liées et constituent ce que l'on peut appeler les Méthodes de conception et production.

Concepts centraux

Les disciplines et concepts centraux de la conception et production sont:

- Synthèse de produits et systèmes : cette partie créatrice de la démarche de conception et production consiste d'abord à définir le produit en termes de fonctions et de performances, soumises à des contraintes. Des solutions pour réaliser les fonctions sont ensuite élaborées et évaluées en utilisant des méthodes scientifiques pour arriver aux solutions à développer. Le développement, le dimensionnement, la validation et la mise en œuvre de ces solutions fait alors appel aux trois autres concepts centraux aux méthodes de conception et production.
- Modélisation des produits/systèmes et des procédés : développer, valider et exploiter un modèle numérique d'une forme géométrique 3D complexe, d'un assemblage, d'un produit, d'un système de production, d'un réseau d'ajout de valeur (Supply Chain). Modéliser le comportement statique, cinématique, dynamique, thermique et de résistance d'un système, les cycles de vie et les coûts associés d'un produit/système, la fabrication d'une pièce. Effectuer des analyses de sensibilité et de robustesse des solutions, opérer des choix multicritères (technologiques, économiques, environnementaux, ...).
- Outils d'analyse numériques et expérimentaux : maîtriser les outils d'analyse numérique et expérimentale pour la détermination, l'optimisation et la validation des performances technologiques, économiques et environnementales des produits/systèmes et des procédés.
- Gestion de production : concevoir, dimensionner et optimiser les flux de matières et d'information, les méthodes de planification et de gestion de ceux-ci au sein d'une unité de fabrication, d'une entreprise ou d'un réseau d'ajout de valeur (Supply Chain).



Domaines d'applications et perspectives

L'ingénieur a pour but de réaliser des objets réels, contribuant au bien-être de l'homme. Son métier est donc intimement lié à la réalisation économiquement efficace de ces objets, à leur distribution aux utilisateurs finaux et à leur recyclage ou élimination. La conception et la production jouent donc un rôle central, non seulement durant la phase de développement et commercialisation d'un produit, mais tout autant durant sa conception et sa fin de vie. Le plus beau produit du monde n'a aucun intérêt s'il ne peut pas être produit, distribué et recyclé de manière économiquement, socialement et écologiquement responsable. Les méthodes de conception et de production sont donc omniprésentes dans l'activité de l'ingénieur et tout particulièrement de l'ingénieur mécanicien. Des exemples des domaines professionnels correspondants sont liés à la réalisation et distribution de tous les biens d'investissement (machines, véhicules, production d'énergie, ...) et de consommation (équipement privé et professionnel, loisirs, sport, habillement, alimentaire, ...).

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétences mis en œuvre | Domaines concernés |
|---|---|---|
| <p><i>Ingénieur de conception</i></p> <p>Concevoir un nouveau produit/système, le dimensionner ; le produit conçu doit remplir un cahier des charges et doit satisfaire les performances technologiques, économiques et environnementales. Les itérations de conception se font au niveau du produit virtuel. Il n'y a plus qu'un prototype physique pour valider expérimentalement les performances.</p> | <p><i>Compétence principale : C3</i></p> <p><i>Compétences secondaires : C2, C1, C4</i></p> | <p><i>Conception et Production</i></p> <p><i>Mécanique des solides/structures</i></p> <p><i>Mécanique des fluides</i></p> <p><i>Thermique et transfert de chaleur</i></p> <p><i>Automatique</i></p> <p><i>Mécanique expérimentale</i></p> |
| <p><i>Ingénieur analyste pour la conception et la production</i></p> <p>Développer un modèle pour évaluer les performances (techniques, économiques et environnementales) d'un produit/système. Exploiter les outils informatiques appropriés et valider les modèles ainsi que les performances par des essais expérimentaux.</p> | <p><i>Compétence principale : C2</i></p> <p><i>Compétences secondaires : C3, C1, C4</i></p> | <p><i>Conception et Production</i></p> <p><i>Mécanique des solides/structures</i></p> <p><i>Mécanique des fluides</i></p> <p><i>Thermique et transfert de chaleur</i></p> <p><i>Automatique</i></p> |
| <p><i>Ingénieur chef de projet pour la conception et production</i></p> <p>Développer le cahier des charges d'un nouveau produit/système et gérer sa réalisation dans les délais et les coûts associés au projet. Assurer le contrôle de qualité de la réalisation pendant le processus de conception et production.</p> | <p><i>Compétences principales : C3, C1, C4</i></p> <p><i>Compétence</i></p> | <p><i>Transversal</i></p> |

| | | |
|---|--|---------------------------------|
| Gérer un groupe de développement multidisciplinaire. | <i>secondaire : C2</i> | |
| <i>Ingénieur d'industrialisation</i> Choisir les procédés de production, concevoir les méthodes de gestion des flux de matière et d'information, dimensionner les stocks, les tailles de lots, former le personnel de production et logistique. | <i>Compétences principales : C3, C2</i> <i>Compétences secondaires : C1, C4</i> | <i>Conception et Production</i> |
| <i>Gestionnaire des opérations (Operations manager)</i> Gérer de manière optimale les flux de matière et d'information au sein d'une entreprise ou d'un réseau d'entreprise. Améliorer de manière continue ses performances. Mettre sur pied et mener à bien des projets de restructuration du réseau d'ajout de valeur. Gérer de grandes équipes de collaborateurs multidisciplinaires et multiculturelles. | <i>Compétences principales : C1, C2, C3</i> <i>Compétence secondaire : C4</i> | <i>Conception et Production</i> |

Prérequis

La formation dans ce domaine fait appel aux disciplines de base de l'ingénieur, mathématiques, physique et aux disciplines spécifiques au génie mécanique.

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaires | Cours offrant cet apprentissage |
|---------------------|---|--|
| <i>Mathématique</i> | <i>Géométrie : représentation des courbes (paramétrisation, calcul des longueurs, vecteurs tangents, courbures), des surfaces et des solides</i> <i>Calcul différentiel et intégral</i> <i>Algèbre linéaire (résolution des systèmes, opérations matricielles, valeurs propres)</i> <i>Analyse numérique</i> <i>Optimisation</i> <i>Recherche opérationnelle (théorie des graphes, programmation linéaire)</i> <i>Analyse statistique et probabilités</i> | <i>A compléter lors de la finalisation du plan d'étude</i> |
| <i>Physique</i> | <i>Mécanique newtonienne</i> <i>Cinématique et dynamique du point et du solide indéformable</i> <i>Mécanique des fluides</i> <i>Electromagnétisme</i> <i>Notions fondamentales d'optique et de physique du solide</i> | |
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale (corrosion, traitements des surfaces,...)</i> | |
| <i>Matériaux</i> | <i>Propriétés mécaniques, thermiques, électriques, magnétiques et optiques des matériaux. Diagrammes de phases, transformation de phase, traitements thermiques, mécanismes de déformation des matériaux métalliques, polymères et composites</i> | |
| <i>Electricité</i> | <i>Machines électriques : actionneurs électriques modernes (ex : DC brushless, piézo) et leur électronique de commande de machine</i> | |
| <i>Informatique</i> | <i>Introduction aux éléments de base d'un système informatique</i> | |

| | | |
|---|---|--|
| | <i>Programmation d'algorithmes (ex. Matlab), analyse et visualisation de données, principes de base des bases de données et de leur exploitation</i> <i>Programmation orientée objet</i> | |
| <i>Capteurs et traitement du signal</i> | <i>A compléter</i> | |

Domaine spécifique « Automatique et Mécatronique »

Questions centrales et problématiques

L'automatique est l'ensemble des disciplines scientifiques et techniques exploitant la rétroaction pour la conduite des systèmes dynamiques. La problématique de base de ce domaine est de comprendre et d'analyser le comportement des systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée afin de pouvoir dimensionner des régulateurs adéquats pour assurer la stabilité et les performances du système bouclé en présence de perturbations et d'incertitudes.

Les systèmes mécatroniques sont une combinaison des systèmes mécaniques, électromécaniques, électroniques et informatiques. Leur conception nécessite la maîtrise des systèmes mécaniques, électromécaniques, électroniques, informatiques et automatiques ainsi que de bonnes connaissances des techniques de modélisation, des capteurs, des actionneurs et du traitement de signaux. L'aspect central de la mécatronique est la vue de l'ensemble et l'intégration judicieuse de ses différentes composantes en un tout cohérent et optimisé du point de vue technique aussi bien que pratique (sécurité, ergonomie, coûts de production, compatibilité environnementale, etc.).

Concepts centraux

Les concepts centraux de l'automatique et mécatronique sont les suivants :

- Modélisation et identification des systèmes dynamiques
- Analyse temporelle et fréquentielle des systèmes linéaires représentés par des modèles d'état ou des fonctions de transferts continus ou discrets
- Stabilité et robustesse des systèmes avec rétroaction
- Commande des systèmes linéaires
- Analyse et commande des systèmes non linéaires
- Analyse et commande des systèmes multivariables
- Informatique temps réel
- Conception, synthèse et intégration de systèmes mécatroniques complets y compris les aspects pratiques (sécurité, coûts, etc.)

Domaines d'applications et perspectives

De nos jours, l'automatique est utilisée dans la plupart des produits industriels de haute technologie même si les algorithmes implémentés dans la partie électronique ne sont pas visibles. Les systèmes mécatroniques ont des applications dans la robotique, l'aéronautique, l'automobile, l'énergie, etc. Avec des produits électroniques toujours meilleurs marchés, l'utilisation de capteurs et d'actionneurs et par conséquent de systèmes automatiques et mécatroniques devient de plus en plus courante dans les équipements qui sont autour de nous (caméra, disque dur, chauffage, four électrique, TV, etc.). A titre d'exemple, les voitures d'aujourd'hui utilisent plusieurs centaines de systèmes mécatroniques et de boucles de rétroaction. De plus, l'automatique analyse aussi les processus naturels, par exemple biologiques, ou autres, notamment économiques, contenant des rétroactions.

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétence mis en œuvre | Domaines concernés |
|--|--|---|
| <p><i>Ingénieur analyste</i></p> <p>Analyser par la modélisation, simulation et numériquement la stabilité, la robustesse et la performance d'un système mécanique ou mécatronique. Proposer des solutions pour améliorer la performance et la robustesse.</p> | C2 et C3 | Automatique et mécatronique + domaine spécifique de l'application |
| <p><i>Ingénieur de développement</i></p> <p>Conception d'un système mécatronique. Il s'agit de choisir les capteurs, les actionneurs, le système embarqué et de développer un algorithme de commande approprié et de mettre en œuvre un prototype.</p> | C2 et C3 | Automatique et mécatronique + domaine spécifique de l'application Electronique |
| <p><i>Ingénieur chef de projet</i></p> <p>Etablir un projet de recherche et développement en se basant sur une étude détaillée de l'état de l'art et des technologies : proposition de solutions novatrices ; définition d'objectifs ambitieux mais atteignables ; choix de critères d'évaluation et de méthodes d'analyse / synthèse appropriées, planification optimale et présentation / défense du projet au près de la direction, de financiers externes ou de clients ; maintien de l'organisation, de la bonne communication et de la documentation du projet ; vérification du bon respect des standards éthiques, écologiques, législatifs et techniques.</p> | C1, C2, C3 et C4 | Automatique et mécatronique + domaine spécifique de l'application Electronique Conception et production |

Prérequis (income)

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaires | Cours offrant cet apprentissage |
|---------------|---|---------------------------------|
| Mathématiques | <p>Analyse dans \mathbb{R}, analyse complexe et analyse vectorielle (intégration, différentiation, équations différentielles, transformées de Fourier, de Laplace...)</p> <p>Algèbre linéaire (résolution de systèmes, opérations matricielles, valeurs propres, rang, ...)</p> <p>Mathématique tensorielle</p> <p>Géométrie (...)</p> <p>Analyse numérique (interpolation, intégration, différentiation, résolution de systèmes linéaires, problèmes aux valeurs propres)</p> <p>Optimisation (systèmes continus différentiables)</p> | Analyse I-III |
| Physique | <p>Mécanique newtonienne</p> <p>Cinématique et dynamique du point et du solide indéformable</p> <p>Propagation d'ondes</p> | Physique Générale I-IV |

| | | |
|---------------------|---|------------------------|
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale (potentiels électrochimiques, acides/bases, réactions RedOx, corrosion, ...)</i> | <i>Chimie Générale</i> |
| <i>Matériaux</i> | <i>Matériaux métalliques (microstructure, diagramme de phase, structure cristalline, grains et dislocations) et polymères (principes, types et technologies) Technologie des matériaux composites</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Electricité</i> | <i>Circuits électriques DC / AC, circuits RLC, électrotechnique, électronique...</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Informatique</i> | <i>Utilisation des outils bureautiques, programmation (...)</i> | <i>Informatique</i> |

Domaine spécifique « Aéro-hydrodynamique »

Questions centrales et problématiques

L'aérodynamique et l'hydrodynamique sont des branches de la mécanique des milieux continus qui s'intéressent à l'écoulement de l'air et de l'eau ; plus généralement, ces branches font partie du domaine de la mécanique des fluides. La problématique de base de ce domaine est de comprendre, modéliser et analyser le comportement des fluides et leur interaction avec l'environnement (parois). Ces phénomènes étant par nature complexes, des modèles simplifiés sont souvent utilisés afin de faciliter l'analyse. Les méthodes numériques avancées ont été récemment développées pour le prototypage virtuel des systèmes complexes par la voie de la simulation numérique.

Concepts centraux

Plusieurs concepts de base déterminent le comportement d'un fluide :

- *Viscosité* – la résistance à l'écoulement qui détermine, par exemple, la contrainte de cisaillement ; l'importance relative de la viscosité est mesurée par le nombre de Reynolds.
- *Turbulence* – associée au caractère tourbillonnaire complexe à différentes échelles spatiales et temporelles, qui est présente pour des nombres de Reynolds suffisamment élevés.
- *Compressibilité* – la variation relative de volume sous l'effet d'une pression appliquée étant mesuré par le nombre de Mach ; d'une valeur très grande pour l'air (gaz) mais faible pour l'eau (liquide).
- *Rhéologie* – un fluide est newtonien si sa vitesse de déformation est proportionnelle à la force appliquée, l'air et l'eau étant des exemples.

Différents modèles mathématiques existent décrivant le comportement de l'écoulement d'un fluide, basés sur le bilan des quantités physiques conservées, telles que la masse, la quantité de mouvement et l'énergie ; par exemple :

- *Écoulement potentiel* – simplification applicable aux écoulements incompressibles, non visqueux et stationnaires pour lesquels le champ de vitesse peut être exprimé comme le gradient d'une fonction scalaire.
- *Équations d'Euler* – équations aux dérivées partielles décrivant des écoulements non visqueux.
- *Équations de Navier-Stokes* – équations aux dérivées partielles décrivant des écoulements visqueux.

Les approches complémentaires de la théorie, de l'expérimentation et de la simulation numérique sont utilisées pour découvrir et décrire des phénomènes complexes associés aux écoulements réels.

Domaines d'applications et perspectives

La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines, tels que l'aéronautique, l'aérospatiale, l'automobile, l'industrie navale, l'énergie, la biotechnologie, l'agroalimentaire et la géophysique. Dans de multiples secteurs industriels, des connaissances approfondies du comportement des écoulements sont indispensables pour la conception, la fabrication et l'utilisation des produits ou procédés.

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétences mis en œuvre | Domaines concernés |
|--|---|--|
| <p><i>Ingénieur analyste</i></p> <p>Analyser, par des méthodes analytiques, expérimentales ou numérique, un écoulement pour déterminer son influence sur les performances (par exemple, portance, traînée) d'un produit ou procédé ; optimisation de la géométrie de l'écoulement pour améliorer ses performances ou réduire son coût.</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C2</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C3, C4</p> | <p><i>Aéro-hydrodynamique</i></p> <p><i>Conception et production</i></p> <p><i>Énergie</i></p> |
| <p><i>Ingénieur de développement</i></p> <p>Développer et valider des méthodologies, techniques ou logiciels nécessaires pour l'analyse expérimentale ou numérique des écoulements en tenant compte d'un cahier des charges défini préalablement.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C2 et C3</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C4</p> | <p><i>Aéro-hydrodynamique</i></p> <p><i>Conception et production</i></p> <p><i>Énergie</i></p> |
| <p><i>Ingénieur chef de projet</i></p> <p>Etablir un projet de recherche et développement en se basant sur une étude détaillée de l'état de l'art et des technologies ; proposition de solutions novatrices ; définition d'objectifs ambitieux mais atteignables ; choix de critères d'évaluation et de méthodes d'analyse / synthèse appropriées, planification optimale et présentation / défense du projet au près de la direction, de financiers externes ou de clients ; maintien de l'organisation, de la bonne communication et de la documentation du projet ; vérification du bon respect des standards éthiques, écologiques, législatifs et techniques.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C1, C4, C3</p> <p><i>Compétence secondaire :</i> C2</p> | <p><i>Transversal</i></p> |

Prérequis

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaires | Cours offrant cet apprentissage |
|----------------------|--|---------------------------------|
| <i>Mathématiques</i> | <i>Analyse dans R, analyse complexe et analyse vectorielle (intégration, différentiation, équations différentielles, transformées de Fourier, de Laplace, ...) Algèbre linéaire (résolution de systèmes, opérations matricielles, valeurs propres, rang, ...) Mathématique tensorielle Géométrie (...) Analyse numérique (interpolation, intégration, différentiation, résolution de systèmes linéaires, problèmes aux valeurs propres) Optimisation (systèmes continus différentiables)</i> | <i>Analyse I-III</i> |
| <i>Physique</i> | <i>Mécanique newtonienne Dynamique des gaz</i> | <i>Physique Générale I-IV</i> |
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale des réactions chimiques</i> | <i>Chimie Générale</i> |
| <i>Matériaux</i> | <i>Propriétés des surfaces, par ex. érosion</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Electricité</i> | <i>Circuits électriques DC / AC, circuits RLC, électrotechnique, électronique...</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Informatique</i> | <i>Utilisation des outils bureautiques, programmation (...)</i> | <i>Informatique</i> |

Domaine spécifique « Biomécanique »

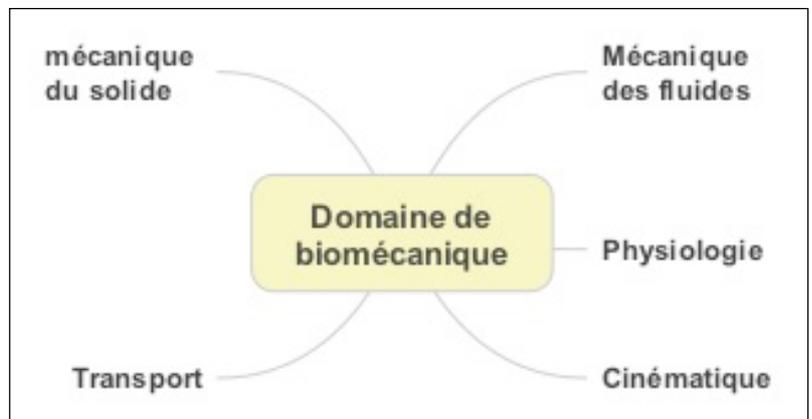
Questions centrales et problématiques

La biomécanique est le domaine où les concepts mécaniques sont appliqués sur des systèmes biologiques. Elle intègre donc des autres domaines mécaniques (solide, fluide) avec une composante supplémentaire qui est la physiologie des organismes vivants. Il y a deux problématiques différentes qui sont étudiées. La première peut être comparée à la mécanique des solides où il s'agit de comprendre, modéliser et analyser le comportement des différents tissus biologiques (solide ou liquide) ou d'implants dans le but de prédire leurs limites de fonctionnement et d'optimiser leurs performances. La deuxième problématique étudiée est d'évaluer et prévoir l'effet de l'environnement mécanique sur les réactions biologiques de systèmes vivants (organes, tissus, cellules, etc.). La biomécanique peut donc être vue comme un terrain d'applications particulier de la mécanique au domaine du vivant.

Concepts centraux

Les disciplines et concepts centraux de la biomécanique sont:

- La cinématique pour l'étude des mouvements et l'analyse de la marche
- La mécanique des solides pour l'étude des différents systèmes tel le système musculo-squelettique
- La mécanique des fluides pour l'étude par exemple du système cardio-vasculaire
- Les phénomènes de transport pour l'étude du système lymphatique ou par exemple de la manière dont les implants poreux doivent être conçus
- Les interactions fluide-structure pour comprendre comment les stimulations mécaniques sont transcrites en stimulation chimique (mécano-transduction ou mécano-biologie).
- La physiologie pour avoir une compréhension biologique du système étudié et ainsi pouvoir lier la mécanique à la biologie
- Ces différentes disciplines seront abordées sous les trois piliers que sont la théorie, l'expérimental et la simulation numérique



Domaines d'applications et perspectives

Il y a deux perspectives distinctes pour le biomécaniciens: la recherche et l'industrie. Concernant la recherche, des travaux peuvent être entrepris sur un vaste choix de sujets, partant de la description mécanique de systèmes exotiques tels des insectes ou des organes, de l'optimisation de la stimulation mécanique pour diriger la différenciation des tissus ou cellules. La majorité des universités ont des centres de recherche en biomécanique. Concernant l'industrie, le domaine orthopédique est le plus représenté, mais on trouve également des biomécaniciens dans les industries du sport, automobile (sécurité), design (ergonomie), ou d'autres domaines biomédicaux.

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétences mis en œuvre | Domaines concernés |
|---|---|---|
| <p><i>Ingénieur analyste</i></p> <p>Analyser, par des méthodes analytiques ou numériques appropriées, un implant pour en déterminer ses performances, sa fiabilité et sa durée de vie ; optimisation de la pièce pour améliorer ses performances.</p> | <p><i>Compétence principale :</i> C2</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C4, C3</p> | <p><i>Industrie médicale (implant)</i></p> <p><i>Industrie sportive</i></p> <p><i>Industrie automobile (sécurité)</i></p> |
| <p><i>Ingénieur assurance qualité</i></p> <p>Tester une structure mécanique (p.ex. une prothèse de hanche) en statique et/ou en dynamique pour vérifier si ses performances et son comportement mécanique correspondent au cahier des charges et/ou aux analyses numériques effectuées préalablement.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C2 et C4</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C3</p> | <p><i>Industrie médicale (implant)</i></p> <p><i>Industrie sportive</i></p> <p><i>Industrie automobile (sécurité)</i></p> |
| <p><i>Ingénieur méthodes</i></p> <p>Caractériser à l'aide d'essais mécaniques adéquats les critères de résistance et la loi de comportement d'un matériau innovant (p.ex pour un implant biomédical) et implémenter cette loi de comportement dans une méthode de simulation analytique ou numérique appropriée.</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C2 et C3</p> <p><i>Compétences secondaires :</i> C1, C4</p> | <p><i>Industrie médicale (implant)</i></p> <p><i>Industrie sportive</i></p> <p><i>Industrie automobile (sécurité)</i></p> |
| <p><i>Ingénieur chef de projet</i></p> <p>Etablir un projet de recherche et développement en se basant sur une étude détaillée de l'état de l'art et des technologies ; proposition de solutions novatrices ; définition d'objectifs ambitieux mais atteignables ; choix de critères d'évaluation et de méthodes d'analyse / synthèse appropriées, planification optimale et présentation / défense du projet au près de la direction, de financiers externes ou de clients ; maintien de l'organisation, de la bonne communication et de la documentation du projet ; vérification du bon respect des standards éthiques, écologiques, législatifs et techniques</p> | <p><i>Compétences principales :</i> C1, C4, C3</p> <p><i>Compétence secondaire :</i> C2</p> | <p><i>Transversal</i></p> |

Prérequis

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaires | Cours offrant cet apprentissage |
|----------------------|--|---------------------------------|
| <i>Mathématiques</i> | <i>Analyse dans R, analyse complexe et analyse vectorielle (intégration, différentiation, équations différentielles, transformées de Fourier, de Laplace...) Algèbre linéaire (résolution de systèmes, opérations matricielles, valeurs propres, rang, ...) Mathématique tensorielle Géométrie (...) Analyse numérique (interpolation, intégration, différentiation, résolution de systèmes linéaires, problèmes aux valeurs propres) Optimisation (systèmes continus différentiables)</i> | <i>Analyse I-III</i> |
| <i>Physique</i> | <i>Mécanique newtonienne Cinématique et dynamique du point et du solide indéformable Propagation d'ondes</i> | <i>Physique Générale I-IV</i> |
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale (potentiels électrochimiques, acides/bases, réactions RedOx, corrosion, ...)</i> | <i>Chimie Générale</i> |
| <i>Matériaux</i> | <i>Matériaux métalliques (microstructure, diagramme de phase, structure cristalline, grains et dislocations) et polymères (principes, types et technologies) Technologie des matériaux composites</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Electricité</i> | <i>Circuits électriques DC / AC, circuits RLC, électrotechnique, électronique...</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Informatique</i> | <i>Utilisation des outils bureautiques, programmation (...)</i> | <i>Informatique</i> |
| <i>Physiologie</i> | <i>Cours d'introduction Physiologie</i> | <i>A définir</i> |

Domaine spécifique « Energie »

Questions centrales et problématiques

L'énergie joue un rôle central dans notre économie et dans le développement durable de notre société. L'énergie est utilisée comme moteur dans les processus de production de biens et de services. Pour la société, l'enjeu principal du domaine de l'énergie est l'utilisation rationnelle de l'énergie afin de préserver nos réserves fossiles et valoriser au mieux les ressources renouvelables. A la diminution des réserves s'ajoutent les enjeux planétaires des modifications climatiques et du développement durable ainsi que la stabilité géo-politique. Face à ces défis, l'ingénieur énergétique aura pour objectif d'inventer, de concevoir et d'opérer des systèmes industriels qui réalisent une utilisation rationnelle et efficace de l'énergie, valorisent les synergies et minimisent les émissions. L'ingénieur énergétique devra donc comprendre des systèmes complexes, multi-services et multi-produits et les placer dans leur contexte géo-socio-économique et politique.

Concepts centraux

La **thermodynamique** constitue la science de base de l'ingénieur mécanicien en énergie. Elle permet de comprendre la conversion de l'énergie et caractériser son efficacité. Elle définit également les limites technologiques et permet de mettre en évidence les défis technologiques.

Il est ensuite important de comprendre et maîtriser les phénomènes de transfert de masse et de chaleur et de comprendre les principes des écoulements des fluides. L'ingénieur mécanicien en énergie maîtrisera les processus de conversion thermo-physique, thermo-chimique et électro-chimique qui lui permettront de choisir les matériaux et de concevoir les technologies de conversion et de caractériser leur impact environnemental.

La plupart des systèmes de conversion d'énergie font appel à des équipements interconnectés qui forment un système. L'approche systémique permet de comprendre les interactions au sein du système. Cette approche concerne tant l'analyse et le design du système que la compréhension de sa dynamique et de son contrôle. Le suivi des performances des systèmes énergétiques requiert également des compétences dans le domaine de la conception et de l'exploitation des systèmes de mesures.

Dans sa démarche, l'ingénieur mécanicien sera amené à utiliser des outils de modélisation et des outils d'optimisation. La démarche de l'ingénieur en énergie est souvent multidisciplinaire, il devra être à même de communiquer avec des spécialistes d'autres domaines et sera souvent amené à travailler en équipe.

L'ingénieur mécanicien en énergie sera toujours amené à inscrire sa démarche dans un contexte technico-économique et environnemental.

Domaines d'applications et perspectives

L'énergie est le moteur du développement des économies, l'utilisation rationnelle de l'énergie est un des indicateurs de la compétitivité des économies. Il va sans dire que l'énergie est au centre de l'activité économique d'un pays. L'ingénieur mécanicien en énergie trouvera des applications dans tous les secteurs de l'économie : habitat, production industrielle, mobilité et transport, entreprises de services, centre de calculs, agriculture, etc ...

Situations professionnelles typiques

| Situations professionnelles | Acquis d'apprentissage et/ou compétences mis en œuvre | Domaines concernés |
|--|---|--|
| <i>Ingénieur d'opération et de maintenance</i> Chauffage, climatisation et réfrigération pour les bâtiments, les bureaux et la grande distribution. Procédés industriels : chimie, pétrochimie, pharma, chimie | <i>Compétences principales :</i> <i>C1 et C4</i> <i>Compétences</i> | <i>Tous les secteurs industriels, secteurs hôtelier et hospitalier</i> |

| | | |
|--|--|--|
| fine, sidérurgie, papier, métallurgie, agro-alimentaire, production d'électricité, traitement des déchets, ... Entreprises de services énergétiques : opérations de chauffage urbains, de réseaux d'eau, de chaud ou de froid. | <i>secondaires :</i> <i>C2, C5</i> | |
| <i>Bureau d'ingénieur</i> Suivi de performances d'installations techniques, audit d'installations techniques et de bâtiments. Conception de projets techniques : installations de chauffage, climatisation, systèmes énergétiques industriels, cogénération ou pompe à chaleur, conception de systèmes de valorisation d'énergie renouvelable : conversion de la biomasse, biocarburants, énergie solaire, ... | <i>Compétences principales :</i> <i>C1, C3, C4</i> <i>Compétences secondaires :</i> <i>C2, C5</i> | <i>Tous les secteurs industriels, secteurs hôtelier et hospitalier</i> |
| <i>Conception d'équipement et de systèmes</i> Design et conception d'équipement : conception de pompes de compresseurs, de moteurs, pile à combustibles, turbine à gaz, ... Design et conception de systèmes énergétiques : pompes à chaleur, systèmes de cogénération, gazifieur. centrales électriques, centrales thermiques. | <i>Compétences principales :</i> <i>C1, C3, C4</i> | <i>Secteur énergétique</i> |
| <i>Planification</i> Planification des infrastructures de réseau de chauffage, d'électricité et de gaz, concept énergétique de quartiers, ... | <i>Compétences principales :</i> <i>C1, C4, C5</i> | <i>Secteur énergétique, administration étatique</i> |
| <i>Finance</i> Financement de projets d'investissement pour l'efficacité énergétique, entreprise de services énergétiques, tiers investisseurs, qualifications des projets de réduction des émissions de CO2 | <i>Compétences principales :</i> <i>C1, C2</i> | <i>Secteur immobilier</i> |

Prérequis

| Domaines | Acquis d'apprentissage nécessaires | Cours offrant cet apprentissage |
|----------------------|--|---------------------------------|
| <i>Mathématiques</i> | <i>Analyse dans R, analyse complexe et analyse vectorielle (intégration, différentiation, équations différentielles, transformées de Fourier, de Laplace...)</i> <i>Algèbre linéaire (résolution de systèmes, opérations matricielles, valeurs propres, rang, ...)</i> <i>Mathématique tensorielle</i> <i>Géométrie (...)</i> <i>Analyse numérique (interpolation, intégration, différentiation, résolution de systèmes linéaires, problèmes aux valeurs propres)</i> <i>Optimisation (systèmes continus différentiables)</i> | <i>Analyse I-III</i> |
| <i>Physique</i> | <i>Mécanique newtonienne</i> <i>Cinématique et dynamique du point et du solide indéformable</i> <i>Propagation d'ondes</i> | <i>Physique Générale I-IV</i> |
| <i>Chimie</i> | <i>Culture générale (potentiels électrochimiques, acides/bases, réactions RedOx, corrosion, ...)</i> | <i>Chimie Générale</i> |

| | | |
|---------------------|---|---------------------|
| <i>Matériaux</i> | <i>Matériaux métalliques (microstructure, diagramme de phase, structure cristalline, grains et dislocations) et polymères (principes, types et technologies) Technologie des matériaux composites</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Electricité</i> | <i>Circuits électriques DC / AC, circuits RLC, électrotechnique, électronique...</i> | <i>A définir</i> |
| <i>Informatique</i> | <i>Utilisation des outils bureautiques, programmation (...)</i> | <i>Informatique</i> |

Glossaire

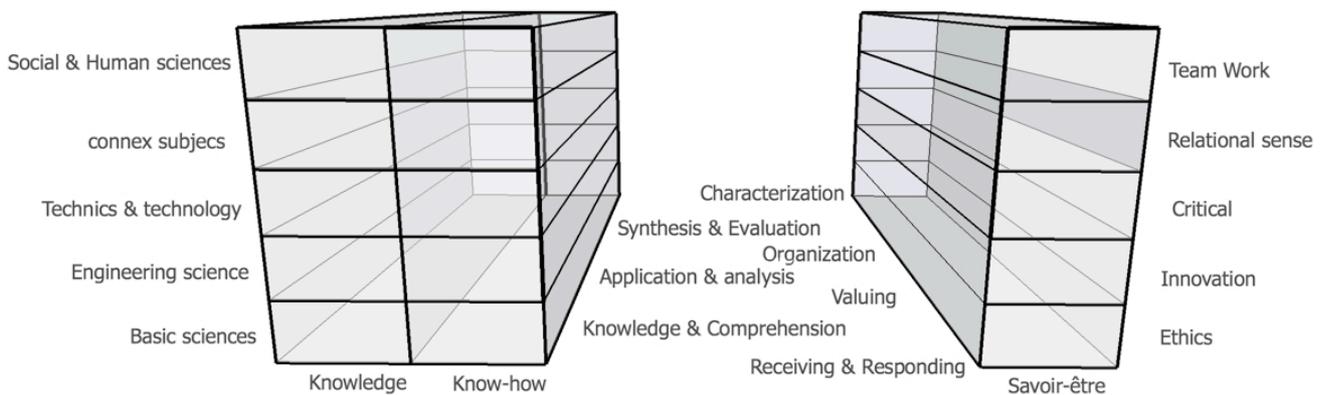
Acquis d'apprentissage (Learning outcomes)

Dans ce projet, c'est la définition du Bologna Follow-up Group qui a été reprise. *Learning outcome* : « Énoncé de ce qu'un apprenant est supposé savoir, comprendre et/ou être capable de faire à l'issue d'une période d'apprentissage » (CRUS, FKH et al., 2009)².

Les acquis d'apprentissage constituent un document intermédiaire de pilotage du plan d'études, en décrivant la manière dont les compétences sont prises en charge dans chaque domaine de la formation. Les acquis d'apprentissage (learning outcomes) sont formulés en lien avec les compétences, pour couvrir les domaines de la formation.

Compétences

Le modèle de compétence fondant l'enquête initiale dans ce projet est inspiré par l'approche de Le Boterf (2006) et de celle de Tardif (1999). Pour Le Boterf, la compétence est l'habileté à mobiliser de manière efficace des ressources intégrées ou matérielles dans le but de répondre aux besoins d'une activité. La figure ci-dessous présente l'espace tridimensionnel des ressources intégrées tel qu'envisagé dans l'enquête. Il comporte un axe thématique (Disciplines), un axe décrivant la nature de la ressource (catégories cognitives : les savoirs, les savoir-faire et les savoir-être) et un axe d'approfondissement. L'axe d'approfondissement est inspiré par les travaux de Bloom tels que cités dans le BOK2 de l'American Society of Civil Engineers (ASCE, 2008)³. Pour les savoirs et les savoir-faire, les niveaux de Bloom ont été regroupés en trois catégories : (1) savoir et comprendre, (2) appliquer et analyser, (3) synthétiser et évaluer. Pour les savoir-être, on distingue quatre niveaux : accepter, défendre, contribuer, joindre.



Composante

La composante représente une dimension d'une compétence ou macro-compétence. Elles constituent en elles-mêmes des compétences que nous avons regroupées dans des « macro-compétences » (appelées compétences) plus facilement manipulables et diffusables dans le pilotage de la formation.

Domaine

Un domaine est un champ disciplinaire. Le Génie mécanique à l'EPFL est constitué de domaines spécifiques que sont l'énergie, l'aéro-hydrodynamique, la mécanique des solides et des structures, l'automatique et mécatronique, la conception et production, ainsi que la biomécanique. Il est également alimenté par des domaines contributifs que constituent les sciences de base (mathématiques, physique,

² CRUS, FKH et COHEP (2009). Cadre de qualifications pour le domaine des hautes écoles suisses / nqf.ch-HS (adopté par le cd-cr.h.ch à l'intention du SER le 23 novembre 2009), <http://www.crus.ch/dms.php?id=9663>

³ ASCE (2008). *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century. Preparing the Civil Engineer for the Future*. Rapport. Reston, Virginia: ASCE

chimie, biologie/sciences de la vie, informatique), les sciences humaines et sociales, et les sciences de l'ingénieur (gestion de projet, représentation technique, aspect expérimental).

Fiche de cours (ou d'activité)

La fiche de cours ou d'activité d'apprentissage (de type projet par exemple) constitue la description succincte du cours. En plus d'une description du contenu du cours, les acquis d'apprentissage pris en charge ainsi que le lien avec les compétences sont précisés.

| Fiche actuelle | Draft de la future fiche |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Objectifs• Prérequis• Contenu <ul style="list-style-type: none">• Méthode d'enseignement <ul style="list-style-type: none">• Bibliographie | <ul style="list-style-type: none">• Compétences visées• Prérequis• Contenu• Situation d'évaluation• Acquis d'apprentissage (outcomes)• Méthode d'enseignement• Travail attendu• Bibliographie• Liens avec les autres cours |

| Préfixe identifiant | Numéro identifiant | Acquis d'apprentissage (savoir / savoir faire / savoir-être) | Niveau d'apprentissage/de compétence | Domaines concernés | | | | | | Compétences | | | | | | | | | | | | | | | Cours / activités existants dans le programme actuel | Pré-requis | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|--|--------------------------------------|--------------------|------------|---------|--------------|-------------|--------------------|-------------|----|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|--|------------|------|----|------|------|------|----|------|---|---|--|------|
| | | | | Transversal | Aéro-hydro | Solides | Biomécanique | Automatique | Conception & prod. | Energie | C1 | C1.1 | C1.2 | C1.3 | C2 | C2.1 | C2.2 | C2.3 | C2.4 | C3 | C3.1 | C3.2 | C3.3 | C3.4 | | | C3.5 | C4 | C4.1 | C4.2 | C4.3 | C5 | C5.1 | C5.2 | C5.3 | C5.4 | C5.5 |
| E | 1 | Maîtriser les notions de bilans de matière, d'énergie et d'impulsion | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 2 | Calculer les propriétés thermodynamiques d'un fluide | 1 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Physique générale, Thermodynamique et énergétique I et II | | |
| E | 3 | Maîtriser les notions de transfert de chaleur et de masse | 1-3 | | | | | | | | | | | x | | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | Physique générale, Thermodynamique et énergétique I et II, Heat and mass transfer, Thermodynamique et énergétique I et II, Numerical methods in heat transfer, two phase flow and heat transfer | | | |
| E | 4 | Calculer les principales transformations thermodynamiques des fluides compressibles et incompressibles | 1 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Thermodynamique et énergétique I et II | | |
| E | 5 | Comprendre les principaux cycles thermodynamiques | 1 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Thermodynamique et énergétique I et II | | |
| E | 6 | Maîtriser les notions de rendements thermodynamiques | 1 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Thermodynamique et énergétique I et II | | |
| E | 7 | Connaître les principales technologies de conversion de l'énergie, leurs principes et leurs limites | 1 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Thermodynamique et énergétique I et II | | |
| E | 8 | Caractériser les ressources d'énergie fossiles et renouvelables et leur associer les principales technologies de conversion | 1-2 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Thermodynamique et énergétique I et II, Renewable energy | | |
| E | 9 | Comprendre les enjeux de l'énergie : quelles sont les ressources, quels sont les services énergétiques, quels sont les impacts économiques et environnementaux | 1-2 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | Renewable energy , SHS | |
| E | 10 | Calculer les écoulements de fluides dans les équipements de conversion d'énergie, calculer des pertes de charges et de chaleur et calculer les interactions fluides-structures | 1-2 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Computational fluid dynamics-compressible flows, Éléments finis en fluides incompressibles, Numerical flow simulation, Mécanique numérique des solides et des structures | |
| E | 11 | Choisir les matériaux en fonction des fluides et des conditions opératoires | 2 | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Materials selection, projets | |
| E | 12 | Calculer et concevoir des machines hydrauliques | 2-3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Hydraulic turbomachines, Introduction aux turbomachines , projets | | |
| E | 13 | Calculer et concevoir des turbo-machines (compresseurs et turbines) | 2-3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Turbomachines thermiques, Introduction aux turbomachines, projets | | |
| E | 14 | Calculer et concevoir des compresseurs et des turbines volumétriques | 3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Powerplants and heat pumps, projets | | |
| E | 15 | Calculer et concevoir des échangeurs de chaleur | 3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Two phase flows and heat transfer, projets | | |
| E | 16 | Calculer et concevoir des moteurs à combustion interne | 3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Engines and fuel cells, projets | | |
| E | 17 | Calculer et concevoir des capteurs solaires | 3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Renewable Energy, projets | | |
| E | 18 | Calculer et concevoir des éoliennes | 3 | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | Renewable energy, projets | | |

Annexe 2

« Un nouveau programme de formation
pour l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL »

Section de Génie Mécanique

Un nouveau programme de formation pour l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL

Version de travail du 01.03.2011 – pour les équipes de travail par domaine

Auteurs : SGM – Dr.J-M. Fürbringer, Prof. R. Glardon ; *Did@ctic-UniFR* – Dr. N. Deschryver, Prof. B. Charlier ¹

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introduction..... | 3 |
| 1.1 | A qui s'adresse ce document ? | 3 |
| 1.2 | Pourquoi ce document ? | 3 |
| 2 | Pourquoi un programme par compétences ? | 3 |
| 3 | Comment a démarré la construction de ce programme ? | 3 |
| 3.1 | Le questionnement d'un panel de professionnels..... | 5 |
| 3.2 | L'analyse des données | 6 |
| 3.2.1 | Les résultats quantitatifs..... | 8 |
| 3.2.2 | Les résultats qualitatifs..... | 11 |
| 3.2.3 | Conclusions de l'enquête..... | 13 |
| 4 | Les étapes de construction du programme..... | 14 |
| 4.1 | Une première proposition de description du programme..... | 14 |
| 4.2 | Le travail de description par domaine..... | 14 |
| 5 | Evaluation du processus de construction | 16 |
| 5.1 | Apports de la participation à la construction | 16 |
| 5.2 | Enjeux..... | 16 |
| 6 | Quels sont les documents qui décrivent le programme ?..... | 17 |
| 7 | Perspectives de développement et de mise en œuvre du plan d'étude | 18 |
| 8 | Perspectives de réutilisation de la méthode | 21 |
| 9 | Documents supplémentaires | 22 |

¹ Avec l'appui de la Conférence des Recteurs des Universités Suisses (CRUS).

² Brunet Y. et L'Écuyer J. : Rapport d'expertise de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 2007

³ Pépiot, G., Cheikhrouhou, N., Fürbringer J.-M. and Glardon, R: *UECML: Unified*



Cette création est mise à disposition selon le Contrat Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5 Generic disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/> ou par courrier postal à Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

1 Introduction

1.1 A qui s'adresse ce document ?

Ce document s'adresse aux différents acteurs impliqués dans la formation des ingénieurs mécaniciens EPFL (enseignants, étudiants, professionnels contactés pour cette étude et au-delà), en fonction de l'état d'avancement du projet.

Cette version s'adresse plus spécifiquement aux équipes de travail par domaine qui participent à la construction de ce programme depuis janvier 2010.

Il s'adressera également à terme aux autres sections de l'EPFL voire d'autres institutions d'enseignement supérieur intéressées dans l'amélioration de leurs systèmes de formation.

1.2 Pourquoi ce document ?

Cette première version poursuit deux objectifs :

- Informer les acteurs de la formation SGM et plus particulièrement les équipes de travail par domaine, sur le processus de construction du nouveau programme ;
- Construire une représentation partagée : ce document sera présenté et discuté dans différentes occasions (réunions de travail, réunions d'information, etc.) et fera l'objet de modifications (document évolutif) en fonction des questions et commentaires des différents acteurs.

2 Pourquoi un programme par compétences ?

Il s'agit de construire un cadre de référence pour les programmes Bachelor et Master, à partir des compétences attendues de l'ingénieur mécanicien EPFL. Ceci doit permettre entre autres :

- de prendre en compte de manière intégrée toutes les facettes du métier de l'ingénieur mécanicien EPFL : savoirs, savoir-faire, savoir-être ;
- d'assurer la cohérence entre les objectifs de formation, les cours et les évaluations ;
- de créer le cadre nécessaire pour rassembler les enseignants autour du projet commun que constitue la formation d'ingénieurs mécaniciens compétents ;
- de construire une représentation partagée de l'offre de formation ;
- de faciliter l'orientation des étudiants.

Pour assurer le succès de la mise en œuvre de ce nouveau programme, un processus de pilotage et d'amélioration continue a été initié. Il implique l'ensemble des enseignants de la section et il tend à établir une boucle de rétroaction entre les objectifs de formation, la définition des cours, l'enseignement, son évaluation, celle des apprentissages et les attentes de monde professionnel. Etant donné la nature du processus de formation d'un ingénieur (durée pluriannuelle de la formation, grand nombre d'acteurs, étendue, diversité et complexité des attentes) il est impossible d'effectuer un design de programme idéal pour ensuite essayer de le réaliser « à l'aveugle ». Les compétences propres de chacun, les approches spécifiques, la dimension humaine de l'enseignement et de l'apprentissage requièrent une collaboration de tous et une négociation à chaque étape. Le cercle vertueux de Demming (Plan-Do-Check-Act) doit être vu comme un processus continu qui d'année en année doit nous permettre de spécifier nos objectifs, d'affiner nos moyens et avec l'aide d'une ingénierie de la formation, faire tendre nos diplômés vers l'excellence que notre institution recherche.

3 Comment a démarré la construction de ce programme ?

Deux éléments ont concouru au démarrage de ce projet. Il s'agit d'une part du travail d'autoévaluation entrepris dans le cadre de la certification OAQ/CTI de 2007 qui a mis en

évidence le manque liens organiques entre des objectifs de formations génériques issus d'un héritage historique du génie mécanique et le processus de gestion du plan d'étude. Un commentaire des auditeurs mentionnait d'ailleurs cette dichotomie [2]. Le second élément est l'expérience de recherche sur la gestion des compétences dans les entreprises menée dans le cadre du laboratoire de Gestion et procédés de Production par les deux initiateurs du Projet, à savoir MM. Glardon et Fürbringer [3]. De cette expérience est issue la conviction de l'intérêt d'une approche par compétence pour l'ingénierie, ainsi qu'un certain savoir-faire nécessaire à une telle entreprise.

Un groupe de travail a d'abord été établi, rassemblant en plus de l'équipe de direction de la section, des enseignants des divers domaines et des ressources externes :

- SGM : Prof. R. Glardon, Prof M. Deville, Dr. A. Schorderet, Dr. D. Gillet, Prof. Th. Gmür, Dr. J.M. Fürbringer, Mme Ch. Gil, Mme A.-S. Borter
- CRAFT : Dr. J.-L. Ricci
- Décanat BaMa : Dr. P.-A. Besse

A cette équipe sont venues s'ajouter, grâce à l'aide de la CRUS⁴, deux expertes en Sciences de l'éducation de l'unité Did@ctic l'Université de Fribourg

- Prof. B. Charlier, Dr. N. Deschryver

Les étapes du travail sont résumées à la figure 1.

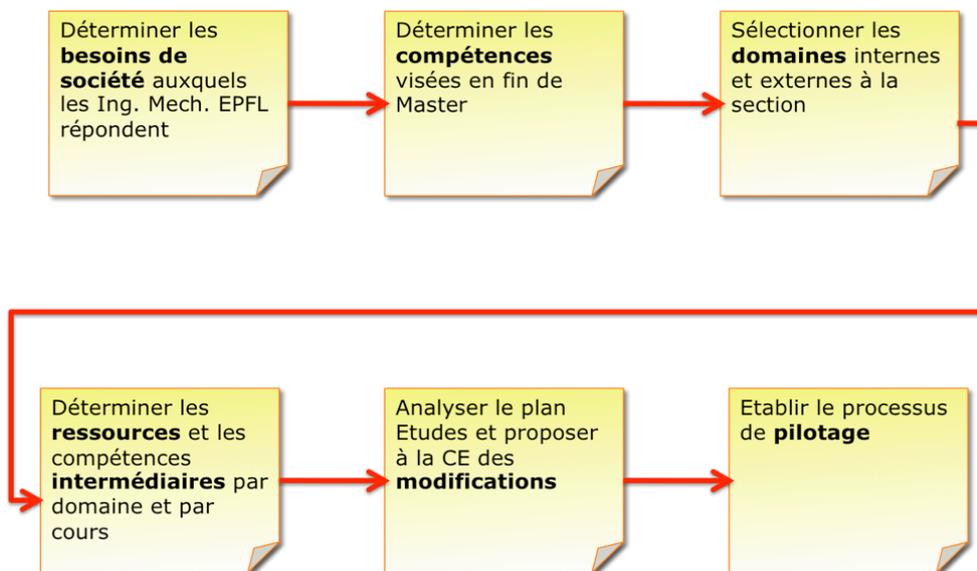


Figure 1: Etape du de construction du programme

La *détermination des besoins* s'est faite à partir d'un document de l'Université d'Illinois [1] Une discussion du groupe de travail nous a rapidement fait prendre conscience que les ingénieurs mécaniciens sont amenés à remplir des tâches et des fonctions dans des secteurs très variés qui dépassent de beaucoup « l'industrie mécanique ». Dans cette perspective, la notion de compétence prend toute sa valeur, supplantant celle de savoir. De manière lapidaire, on pourrait dire que le groupe de travail s'est accordé sur le fait que monde économique nécessite plus de têtes bien faites que de têtes bien pleines.

² Brunet Y. et L'Écuyer J. : Rapport d'expertise de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 2007

³ Pépiot, G., Cheikhrouhou, N., Fürbringer J.-M. and Glardon, R: *UECML: Unified Enterprise Competence Modelling Language*. Computers in industry vol: 58(2) pp. 130-142, 2007.

⁴ Conférence des Recteurs des Universités Suisses

3.1 Le questionnement d'un panel de professionnels

L'étape suivante de *détermination des compétences* a débuté par la construction de l'instrument d'enquête que devait permettre la détermination des compétences attendues. Les choix et catégorisation effectués dans cette étape sont les suivants :

- Le modèle de compétences est inspiré par l'approche de LeBoterf et celle de Tardif [5 et 6]. Pour LeBoterf c'est-à-dire que *La compétence est l'habileté à mobiliser de manière efficace des ressources intégrées ou matérielles dans le but de répondre aux besoins d'une activité.*
- L'espace des ressources intégrées est tridimensionnel avec un axe thématique, un axe décrivant la nature de la ressource et un axe d'approfondissement (Figure 2).
- L'axe thématique des savoirs et des savoir-faire contient les catégories standards de nos plans d'études, à savoir: sciences de base, sciences de l'ingénieur, technique et technologie, sujets connexes à l'ingénierie (comptabilité, droit etc...), sciences humaines et sociales.
- L'axe thématique des savoir-être intègre des catégories ad-hoc issues des discussions du groupe de travail, à savoir : éthique, innovation, esprit critique, sens des relations humaines, teamwork.
- L'axe d'approfondissement est inspiré par les travaux de B. Bloom tels qu'ils sont cités dans le BOK2 de l'ASCE [7]. Pour les savoirs et les savoir-faire, les niveaux de Bloom ont été regroupés deux par deux en trois catégories : (1) savoir et comprendre, (2) appliquer et analyser, (3) synthétiser et évaluer. L'axe d'approfondissement des savoir-être n'a pas été évalué par le questionnaire.
- Le questionnaire évitait soigneusement de questionner sur le contenu des cours, mais se concentrait sur les habiletés attendues. Il demandait systématiquement 3 types d'appréciations : l'importance d'un élément donné, le niveau d'approfondissement requis et une argumentation de la réponse (Figure 3).

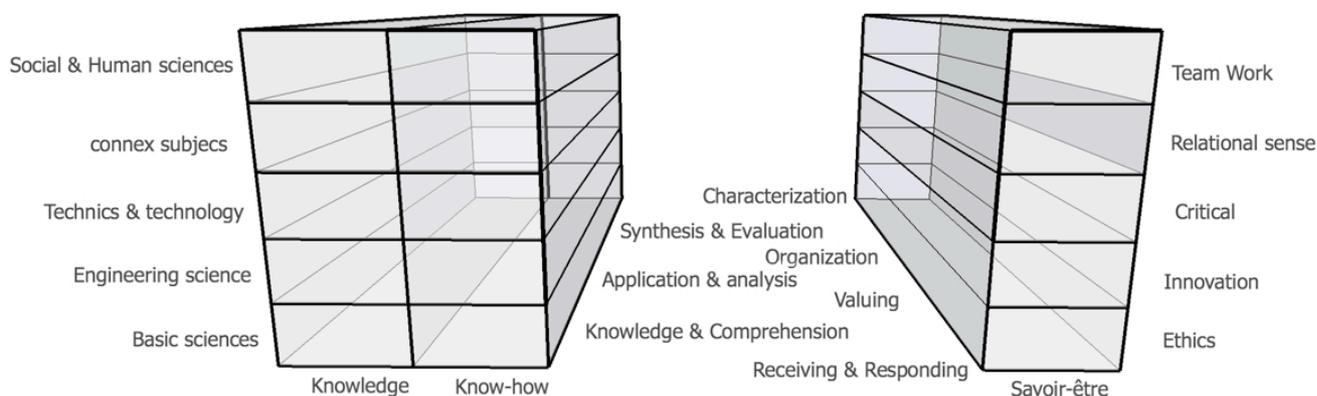


Figure 2 - Modèle utilisé pour l'enquête – structure tridimensionnelle

⁵ LeBoterf, G. : Ingénierie et évaluation des compétences, 4^{ème} édition. Editions d'Organisation, 2002

⁶ Tardif, J. : Le transfert des apprentissages Montréal, Éditions Logiques, 1999

⁷ ASCE. : Civil engineering body of knowledge for 21st century, 2008

A.1 Savoir en sciences de base

- (2) Dans les sciences de base, nous sommes intéressés par l'importance que vous donnez aux différentes branches, ainsi que le niveau d'approfondissement que doit avoir atteint le diplômé à la fin de son Master.

Échelle importance

① = sans importance ; ② = désiré ; ③ = prioritaire ; ④ = essentiel au niveau Master

Échelle approfondissement

① = savoir et comprendre ; ② = appliquer et analyser ; ③ = évaluer et créer

| | <i>↓ Importance</i> | | <i>Approfondissement ↓</i> |
|-----|---------------------|--------------------|----------------------------|
| (a) | ① ② ③ ④ | Mathématique | ① ② ③ |
| (b) | ① ② ③ ④ | Physique | ① ② ③ |
| (c) | ① ② ③ ④ | Chimie | ① ② ③ |
| (d) | ① ② ③ ④ | Informatique | ① ② ③ |
| (e) | ① ② ③ ④ | Sciences de la vie | ① ② ③ |
| (f) | ① ② ③ ④ | Autre : | ① ② ③ |
| (g) | ① ② ③ ④ | Autre : | ① ② ③ |

Vos arguments :

Figure 3– Extrait du questionnaire

Le panel a été particulièrement difficile à réunir. Les contacts obtenus auprès des enseignants de la section et auprès de l'A3⁸ se sont révélés soit très biaisés (beaucoup de personnes avec les mêmes caractéristiques) soit non valables (Email non valide). D'autre part, le questionnaire relativement lourd est vraisemblablement aussi responsable de certains refus et défections. Voici un résumé succinct de ce panel :

- Questionnaires: 52 envoyés, 37 reçus
- Genre: 10 femmes, 42 hommes
- Alma mater: 32 EPFL
- Niveau académique: 12 PhD
- *Entreprise: 12 PME, 27 grandes entreprises*
- *Industrie: 19 manufacturières, 3 eau et énergie, 4 transport*

3.2 L'analyse des données

Comme décrit dans la Figure 4, les données des 37 questionnaires reçus ont été transcrites dans des fichiers Excel. Ces données ont ensuite été traitées par une description des données quantitatives et une analyse qualitative consistant en un classement des commentaires en catégories. Les résultats de ces analyses complémentaires doivent alimenter la construction du référentiel de compétences.

⁸ Association des alumni de l'EPFL

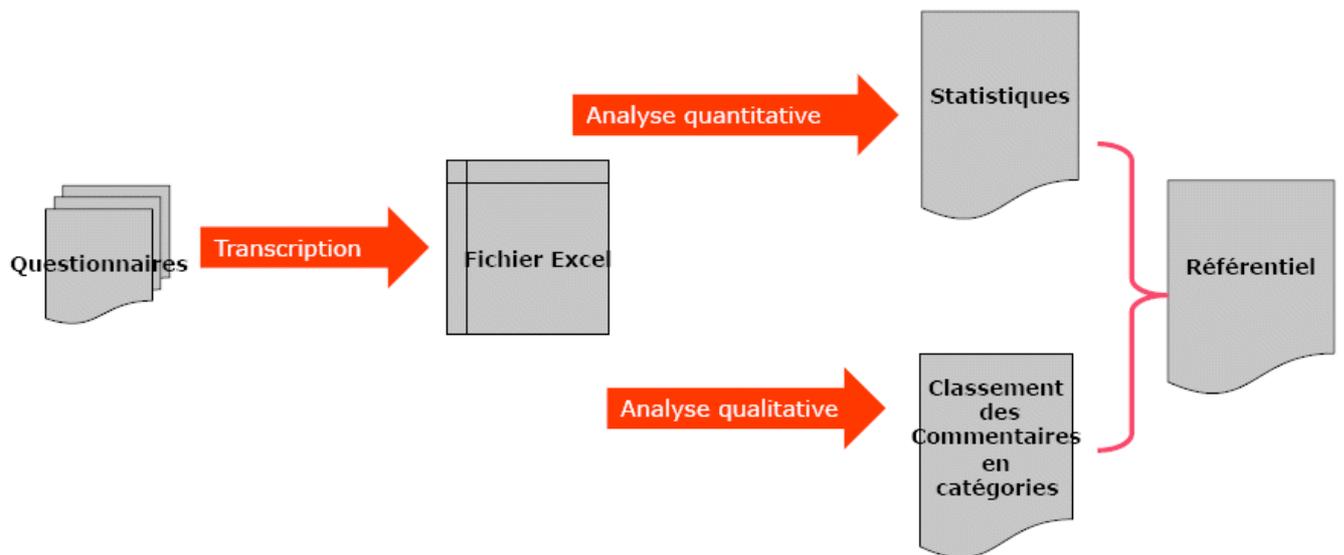


Figure 4 – Processus d’analyse des questionnaires

L’analyse qualitative, comme décrite dans la Figure 4, a été réalisée avec le logiciel Atlas.ti. Comme précisé plus haut, l’analyse a consisté à un classement des commentaires en catégories. Le premier classement a été réalisé sur base d’une liste de catégories définies après une première lecture des commentaires. Ensuite, certaines données classées dans certaines catégories (Habilités+connaissances, Connaissances, Qualités, Réalité du métier) ont été reclassées selon le référentiel de compétences des ingénieurs civils de l’Université Libre de Bruxelles de manière à profiter d’une réflexion déjà menée.

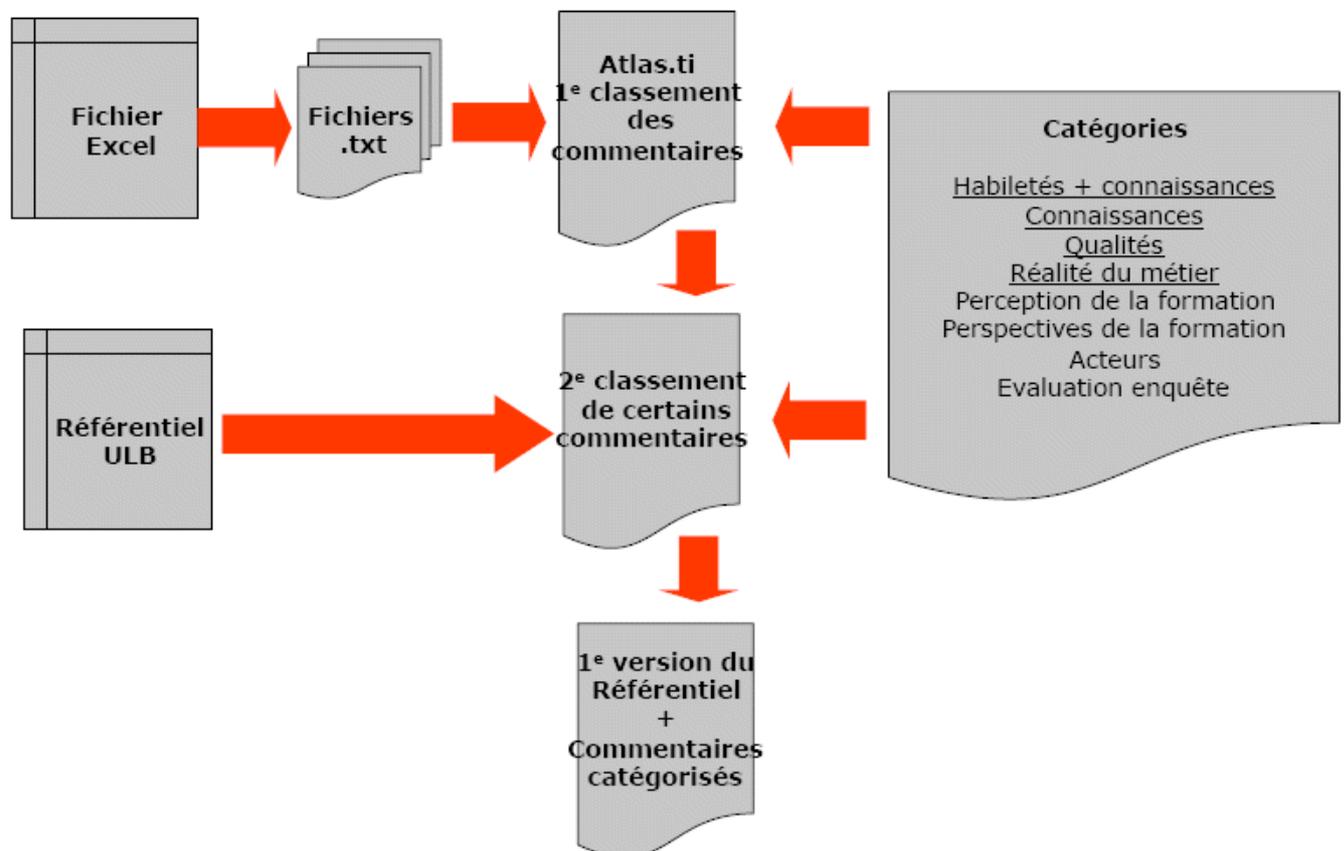


Figure 5 – Processus d’analyse qualitative des données

3.2.1 Les résultats quantitatifs

Le savoir et son acquisition sont des éléments considérés comme centraux dans l'éducation en général et en particulier dans la formation universitaire. Le savoir vient cependant en complément d'autres composantes essentielles qui sont acquises et/ou développées durant la formation. La détermination des savoirs à intégrer dans le cursus va permettre de définir les thématiques traitées dans les cours. Le développement exponentiel des connaissances nous oblige à des priorisations parfois drastiques, dans l'idée que certains savoirs laissés de côté par la formation universitaire pourront être acquis par la suite.

La **Figure 6** ci-dessous, met en parallèle l'importance et le niveau d'approfondissement recommandés par le panel. Elle montre clairement que la **base polytechnique est un élément clé de la formation**. En effet,

- les sciences de base maîtrisées à un niveau d'application sont essentielles ;
- les sciences de l'ingénieur et la technologie sont attendues à un niveau de maîtrise maximal, avec une importance majeure donnée aux sciences de l'ingénieur (aspect méthodologique) par rapport à la technologie (aspect concret, connaissance de produits et de solutions spécifiques);
- les sciences humaines et sociales ainsi que la formation connexe sont perçues comme de moindre importance au niveau des savoirs et leur approfondissement recommandé est le niveau savoir-comprendre.

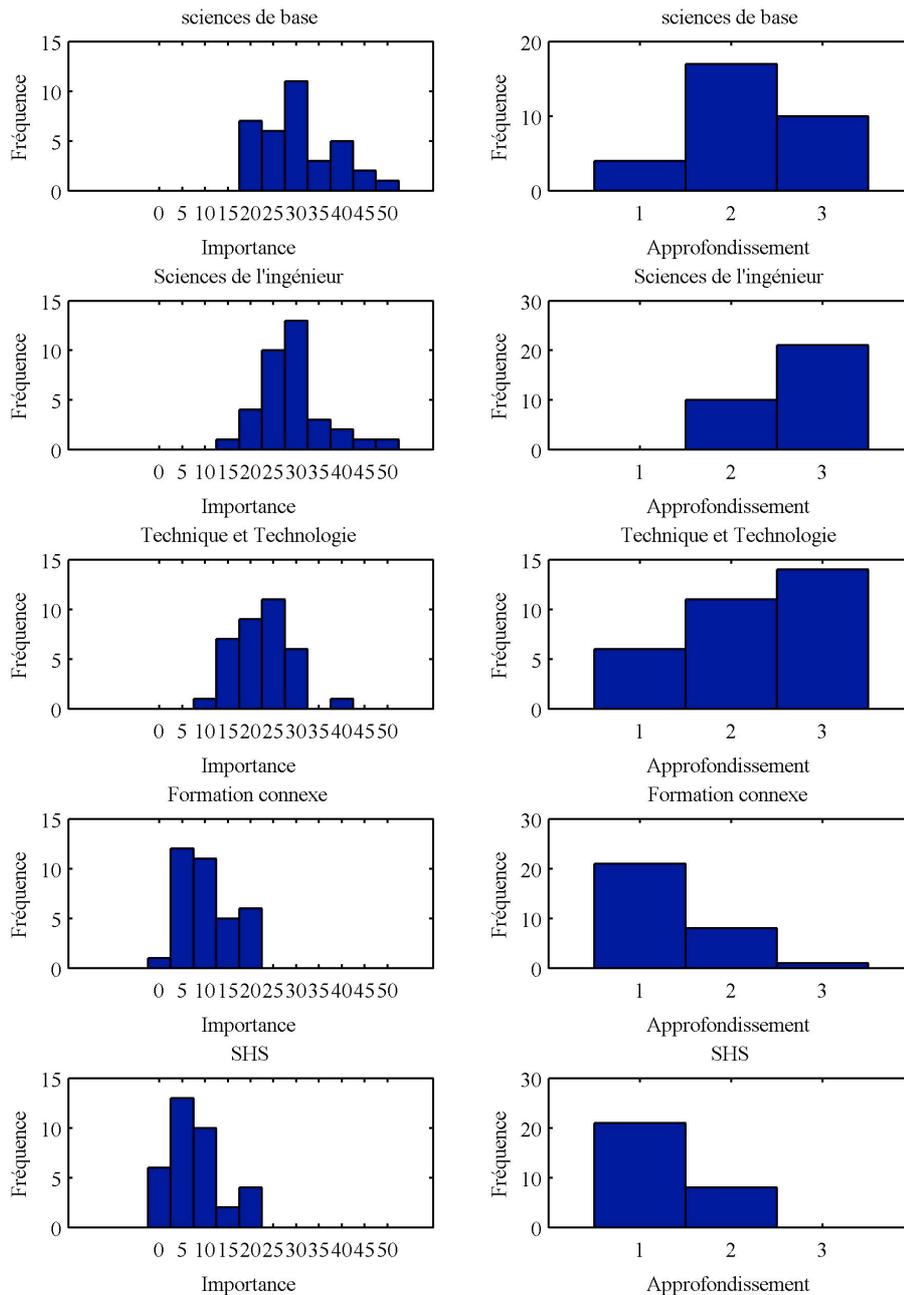


Figure 6 – Reconnaissance de la base polytechnique. A gauche est représenté l’histogramme des opinions au sujet de l’importance des différentes catégories de savoirs ; à droite se trouve l’histogramme pour le niveau d’approfondissement (1= savoir et comprendre, 2=appliquer et analyser, 3=synthétiser et évaluer).

Lorsque le panel s’est prononcé sur la priorisation et le niveau d’approfondissement des savoirs en sciences de l’ingénieur, 3 thèmes sont ressortis très nettement. Sur la Figure 7 on peut observer qu’il s’agit de la conception, de la connaissance des matériaux et de la thermodynamique.



Figure 7– Savoirs prioritaires et niveau d’appropriation

Le **savoir-faire** s’acquiert dans l’action et la réflexion sur l’action. Il se manifeste par des capacités de manipulation, d’observation, de mise en place de dispositifs, de réglage et mise au point qui permettent de mener à bien un certain nombre de tâches. Les questions visaient à déterminer quels *savoir-faire* sont nécessaires aux jeunes ingénieurs en mécanique, de mettre en évidence éventuellement des priorités et de déterminer le rôle de l’EPFL dans leur enseignement dans un souci d’équilibre entre l’employabilité à court et à moyen terme.

Les opinions du panel quant à l’importance des divers domaines de savoir-faire et son approfondissement recoupe ce qui a été observé pour les savoirs.

Plus spécifiquement, l’analyse quantitative des réponses au questionnaire relatives aux savoir-faire en science de l’ingénieur a abouti au classement des thèmes selon l’ordre de priorité suivant :

- (g) Méthodologie de résolution de problèmes
- (i) Gestion et conduite de projets collaboratifs
- (l) Méthodologie de conception
- (o) Techniques de présentation orale
- (h) Gestion et conduite de projets individuels
- (p) Techniques de présentation écrite
- (a) Techniques de mesure
- (b) Planification et conduite d’expériences
- (e) Techniques de simulation
- (j) Méthodologie et principes de modélisation et de calcul numériques
- (c) Méthodologie de programmation
- (q) Techniques de recherche documentaire (littératures, articles, brevets, specs, ...)
- (m) Maîtrise d’outils spécifiques de CAD-CAM
- (n) Méthodes du Systems Engineering
- (f) Maîtrise de logiciels spécifiques de simulation
- (d) Maîtrise de langages spécifiques de programmation
- (k) Maîtrise de logiciels spécifiques de modélisation et de calcul

Le terme « savoir-être » regroupe les différentes attitudes, façons de penser et d'aborder des problèmes ainsi que le sens des valeurs qu'un individu acquiert dans sa formation. L'enseignement intègre intentionnellement ou non une composante de *savoir-être*.

L'objectif des questions était de déterminer les *savoir-être* nécessaires aux jeunes ingénieurs en mécanique, d'y introduire un ordre de priorité et de déterminer le rôle de l'EPFL dans leur enseignement.

Les savoir-être sont transversaux aux disciplines définies en introduction (Figure 2). Ils peuvent se développer et s'exercer dans chacune de ces disciplines. L'analyse des réponses a permis de les classer par ordre de priorité de la manière suivante :

- Esprit critique et curiosité
- Collaboration et teamwork
- Sens des relations humaines
- Esprit d'innovation et d'entreprise
- Valeurs éthiques et sens des responsabilités

On s'est aussi intéressé à l'attente de la part de l'entreprise au niveau du savoir-être maîtrisé par le jeune ingénieur. Les réponses ont unanimement montré que l'alternative était exclusivement entre les deux propositions suivantes :

- (a) Le savoir-être est absolument nécessaire pour assurer une bonne intégration du jeune ingénieur dans son premier emploi ;
- (b) Le savoir-être est nécessaire, mais avec des efforts le jeune ingénieur pourra l'acquérir lors de son premier emploi.

Des résultats plus détaillés sont disponibles dans le rapport de l'analyse quantitative⁹. Passons maintenant à l'étape de l'analyse qualitative.

3.2.2 Les résultats qualitatifs

Un des premiers résultats de l'analyse qualitative est la liste des compétences et leur illustration par les citations de l'enquête. Ces données se trouvent dans le document « Compétences de l'ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL » (voir point 6).

Tableau 1 – les compétences de l'ingénieur mécanicien EPFL

| | |
|---|--|
| 1 | Comprendre, s'adapter rapidement et de communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique |
| 2 | Identifier, analyser et formuler des problèmes complexes en adoptant une approche scientifique, holistique et multidisciplinaire |
| 3 | Concevoir des solutions innovantes et efficaces |
| 4 | Agir en professionnel(le) responsable |

Le tableau ci-dessous reprend à titre d'illustration une composante de la compétence 1 et quelques citations qui ont conduit à leur définition.

Tableau 2 – Illustration d'une compétence et composantes

| Compétence 1 – composante 1.1 | Citations |
|---|--|
| 1. Comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et | - <u>comprendre</u> d'un point de vue scientifique et analytique <u>le monde qui nous entoure</u> P 2: A-Savoir-2.txt - 2:19 [(41:41) |

⁹ Fürbringer, J.-M. : Les compétences de l'Ingénieur Mécanicien EPFL : Analyse quantitative du questionnaire. Document de travail, 2009 (voir annexe).

| | |
|---|--|
| économique | <ul style="list-style-type: none"> - L'ingénieur doit être capable de <u>s'adapter à son environnement et comprendre</u> les métiers qui peuvent exister au sein d'une entreprise P 2: A-Savoir-2.txt - 2:7 (15:15) |
| <p>C1.1 Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés. Ceci implique de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre des méthodes de recherche pour trouver de l'information pertinente - Synthétiser, analyser, abstraire - S'exercer et s'entraîner | <ul style="list-style-type: none"> - méthodologie d'apprentissage [] - <u>savoir apprendre</u> P 2: A-Savoir-2.txt - 2:16 (27:32) - <u>apprendre</u> lorsque les connaissances font défaut P12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:72 (55:55) - l'ingénieur doit <u>savoir où sont les références</u> P 1: A-Savoir-1.txt - 1:24 (37:37) - <u>L'analyse de la demande et l'abstraction pour raisonner sur des schémas, des principes, se retrouvent plus souvent chez l'ingénieur EPF</u> P11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - 11:18 (24:24) - développer sa capacité de <u>synthèse</u> P12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:23 (18:18) - s'entraîner à <u>apprendre vite</u> (et <u>comprendre vite</u>) P21: C-Savoir_Etre-23.txt - 21:13 (34:35) |

A côté de la contribution à la construction de la liste des compétences, d'autres données intéressantes ont été analysées dans les commentaires du panel de professionnels. Elles concernent leur perception de la formation de l'ingénieur mécanicien à l'EPFL, leurs attentes relativement à cette formation et leur évaluation de l'enquête. Pour chacun des éléments repris, nous avons indiqué entre parenthèses le nombre de personnes concernées. Il s'agit le plus souvent d'un très petit nombre mais les idées relevées pourraient alimenter une étude ultérieure auprès du panel.

Concernant leur **perception de la formation** des ingénieurs mécaniciens à l'EPFL, voici quelques éléments :

- Manque d'approfondissement de certaines branches et notamment ce qui concerne la gestion des relations interpersonnelles (5)
- Les supports de cours manquent d'explications et d'exemples (2)
- Le stage d'usinage est inutile (2)
- Manque de différenciation entre HES et EPFL (1)
- Questionnement de la pertinence de la formation à la recherche (1)
- Problème de mise à jour des connaissances des enseignants (1)
- Ce qui fonctionne bien au Master : quelques cours, l'encadrement, la préparation à la vie professionnelle, les techniques de gestion, le travail de groupe (1)

Concernant les **attentes et perspectives** liées à la formation :

- Apprendre par la mise en pratique (8) : études de cas, exercices, travaux pratiques
- Apprendre par la mise en projet (5)
- Susciter la motivation à apprendre (4)
- Stage : engagement dans un projet concret avec production (3), articulé au travail de diplôme (4), possibilité de prendre conscience des différents niveaux de l'entreprise (1)
- Aide à l'orientation professionnelle (3)
- Approche générale : interdisciplinarité (1), master en anglais (1), privilégier la qualité sur la quantité de cours (1), insertion professionnelle (1), cours par experts extérieurs à l'EPFL (1), transmission de l'expertise professionnelle (1)

Concernant l'évaluation de l'enquête :

- Evaluation globalement positive
- Une version électronique serait bienvenue (3)
- Proposition de compléter par un entretien (3)
- Pas de prise en compte du profil des interviewés (2)

Je suis étonné de ne pas voir de partie prenant compte le profil de l'expert questionné. En effet, mes réponses, et celle de chaque expert, sont très orientées par mon profil, qui est plus managérial que technique. Ainsi, j'insiste plus sur les aspects humains et communication qu'un ing. purement Ce dernier point n'étant bien sûr pas évident à perdre en compte d'une formation unique de génie mécanique. *P23: E-Remarques.txt - 23:10 (24:24)*

- Attentes du point de vue des enseignants (1)

On a beaucoup "parlé" des exigences d'étudiants. Il manque la partie d'exigences aux enseignants. *P23: E-Remarques.txt - 23:3 (10:10)*

- Prévoir plus de questions sur les branches (1)

Le questionnaire reste très général. Notamment, il manque de place pour les suggestions sur les branches-mêmes. *P23: E-Remarques.txt - 23:21 (40:40)*

3.2.3 Conclusions de l'enquête

La première observation est que l'essentiel n'est pas surprenant. On retrouve bien dans la liste des compétences, complétée par leurs composantes, l'image attendue d'un ingénieur scientifique capable de comprendre des situations complexes et de proposer des solutions innovantes à des problèmes technologiques.

Cependant l'intérêt de cette liste est qu'elle est mieux structurée et priorisée que si elle avait été produite par compilation. De plus cette définition de l'ingénieur est validée par des avis externes et argumentée.

Il est encourageant d'observer d'autre part que cette liste est cohérente avec les valeurs de notre institution qui met constamment en exergue l'importance de la base polytechnique, mais aussi celle du savoir-être.

Un mot tout de même sur un point qui a peut-être été parfois négligé. Il s'agit de l'importance de la conception. L'étude a montré que, de l'avis du panel, le monde économique a besoin d'ingénieurs qui soient capable de concevoir. L'enseignement de cette compétence est particulièrement complexe et les difficultés de notre section dans ce domaine en est une preuve patente.

Regardons maintenant comment à partir de cette liste de compétences nous pensons arriver à un programme renouvelé.

4 Les étapes de construction du programme

Le programme va décrire les objectifs de la formation des ingénieurs mécaniciens EPFL :

- au niveau général : quelles sont les compétences attendues pour les ingénieurs mécaniciens EPFL ? Quels sont les liens entre elles ?
- au niveau des domaines : comment les compétences attendues vont-elles être prises en charge dans chaque domaine de la formation ?
- au niveau des cours : comment les compétences attendues vont-elles être développées dans les cours ?

4.1 Une première proposition de description du programme

L'équipe de coordination a commencé par proposer une **description générale des compétences**. Elle a été entamée sur base des résultats de l'étude Delphi. Suite à l'analyse des données qualitatives de l'Etude Delphi, une première liste de compétences a été proposée et discutée dans l'équipe de coordination du projet. Cette liste a été présentée à la séance de l'Advisory Board de la Section de Génie mécanique, le Jeudi 29 octobre 2009. Suite à cette réunion, quelques modifications ont été apportées. Sur cette base, une description plus précise de ces compétences a été proposée.

4.2 Le travail de description par domaine

Après ce travail de construction au niveau général du programme, il s'est agi de préciser comment les compétences attendues sont prises en charge **dans chaque domaine de la formation**. Des équipes ont été constituées pour chaque domaine :

- Mécanique théorique (mécanique des fluides, mécanique des solides, biomécanique) :
 - o Délégués : J. Cugnioni , M. Sawley, D. Pioletti ;
 - o Autres Enseignants : J. Botsis, A. Curnier, T. Gmür, A. Chorderet, M. Deville, N. Fietier, J.-B. Vos ; F. Gallaire , D. Charbonnier, N. Stergiopoulos, E. Mickailly-Huber, A. Pexieder
- Automatique et mécatronique :
 - o Délégué : A. Karimi ;
 - o Autres Enseignants : R. Longchamp, D. Bonvin, D. Gillet, K. Agbeviade , H. Bleuler; Ph. Mülhaupt, Ch. Salzmann
- Conception et production :
 - o Délégué : P. Xirouchakis;
 - o Autres Enseignants : R. Glardon, J. Giovanola, D. Kremer, C. Ramseyer, P. Xirouchakis, I. Stroud, D. Kiritsis, M. Pouly, E. Boillat, N. Cheikhrouhou, A. Chorderet , R. Clavel;
- Energie :
 - o Délégué : F. Maréchal
 - o Autres Enseignants : D. Favrat, Y. Van Herle, P. Ott, J. Thome, N. Borhani, F. Avellan, P. Maruzewski, M. Farhat., R. Chawla, A. Cioncolini, Ch. Nicolet

Pour préparer ce travail de construction par domaine, un travail préparatoire a été réalisé entre décembre 2009 et janvier 2010 avec les délégués des domaines. L'objectif était d'articuler les compétences et les thématiques du domaine et de déterminer des acquis d'apprentissage.

Une réunion d'information/discussion a été organisée le 13 janvier 2010 avec les équipes des domaines pour leur présenter l'état d'avancement du projet et en discuter.

Suite aux séances de travail préparatoire avec les délégués des domaines et à la réunion de d'information/discussion, des séances de travail « au vert » ont été organisées avec chaque équipe de travail/domaine : par ailleurs, des membres des autres équipes étaient également présents pour favoriser une certaine articulation entre les travaux. Des membres de l'équipe de coordination et du Craft ont participé également à ces séances pour assurer la cohérence d'ensemble. Donc quatre séances d'une demi-journée ont été organisées (1 par domaine) entre février et mars 2010.

| Atelier | Date | Lieu |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| Mécanique du solide, Mécanique des fluides Biomécanique | 17 février, 9:00- 14:00 | Bois Chamblard (Chalet) |
| Conception et production | 17 février, 13:00- 18:00 | Bois Chamblard (Chalet) |
| Energie | 18 février, 9:00- 14:00 | Bois Chamblard (Chalet) |
| Automatique et mécatronique | 16 mars, 13:00-18:00 | Bois Chamblard (Chalet) |

Le programme de chaque séance était :

- Introduction : bref rappel des finalités du programme, des objectifs de l'atelier, des valeurs sous-jacentes (respect des pratiques, collaboration, ...), du timing ;
- Présentation du travail préparatoire par les délégués ;
- Travail sur les 3 premières compétences, chacune prise en charge par un groupe :
 - o Valider les compétences, les composantes et les acquis d'apprentissage en se centrant sur les composantes spécifiques SGM.
 - o Compléter quand des composantes ne sont pas précisées par des acquis d'apprentissage.
 - o Quand il y a beaucoup d'acquis, pointer ce qui est essentiel.
 - o Spécifier les acquis généralistes (G) ou spécialistes (S)
- Mise en commun, debriefing en grand groupe,
- Planification pour les prochaines étapes.

Les résultats de ces séances de travail ont donné lieu à :

- Une révision de la formulation de certaines compétences, composantes et acquis d'apprentissage, ajouts de nouveaux acquis ;
- Une modification de la structure initiale des documents de description du programme : un seul document décrira le programme, intégrant les spécificités des domaines, au lieu de deux documents envisagés initialement ;
- La mise à jour de ce document de présentation du projet.

Après les séances au vert, il s'est agi de finaliser la description du programme par domaine. Un processus de construction plus détaillé a été proposé aux conseillers des domaines. Ce processus a été pensé de manière collaborative avec un des conseillers volontaires, Mr J.Cugnoni. Des séances de présentation de ce processus ont été organisées avec chaque conseiller en juin 2010. Chaque conseiller s'organise alors avec les enseignants de son domaine pour fournir une description des éléments suivants :

- Elaboration des acquis d'apprentissage spécifiques par domaine en articulation avec les compétences ;
- Définition des prérequis aux acquis du domaine ;
- Définition du domaine ;
- Définition de situations professionnelles spécifiques au domaine.

Ce travail a été présenté lors de plusieurs séances en juin-juillet 2010.

Un document guide pour cette étape de la construction a été donné aux conseillers (voir annexe) ainsi qu'un exemple réalisé par un des conseillers. Ainsi par exemple pour l'élaboration des acquis, plusieurs indications ont été données comme par exemple :

répondre à la question « à la fin des études, qu'est-ce qu'il faut absolument/optionnellement que l'étudiant sache et soit capable de faire dans mon domaine? » ; formuler chaque acquis de sorte qu'il soit évaluable ; élaborer une liste raisonnable d'acquis, et si on obtient une liste trop longue, prendre l'acquis le plus complexe dans la liste, qui représente le mieux ce qui est attendu, etc. Un petit guide a également été fourni avec une liste de verbes permettant de définir un acquis évaluable.

Suite à ce premier travail par équipe, un bilan a été réalisé. La liste des acquis a été relue par l'équipe de coordination pour en dégager les redondances et valider la formulation. Avec les conseillers, les prochaines tâches ont été négociées : déterminer les cours/activités d'apprentissage prenant en charge chacun des acquis, déterminer à quel niveau de formation est envisagé la prise en charge de l'acquis, déterminer pour chaque acquis les domaines dans lesquels ils sont prioritaires ou interviennent dans une moindre mesure, et enfin se prononcer sur les redondances signalées.

Le processus de construction est toujours en cours de manière à pouvoir intégrer les premières modifications au plan d'étude 2011-2012.

5 Evaluation du processus de construction

5.1 Apports de la participation à la construction

Lors des différents échanges avec les enseignants, un certain nombre d'apports dans leur participation à la construction du projet ont été formulés, mettant en évidence que le processus de construction est aussi important que le résultat de la construction même.

En premier lieu, la participation à la construction leur permet de clarifier comment ils se situent par rapport à leur domaine et par rapport aux collègues. On peut penser aussi que c'est pour ces enseignants provenant de domaines différents, l'occasion de développer un langage commun en montrant qu'au-delà des spécificités disciplinaires, ce sont des compétences proches qui sont visées dans la formation des étudiants.

Un autre apport de la participation à la construction émis par les enseignants est le fait-même d'apprendre la démarche de construction du programme. C'est aussi une manière de se l'approprier et de favoriser l'adhésion des enseignants dans son déploiement.

Un dernier apport cité par les enseignants est le fait que cela leur permet d'explicitier l'existant dans leur pratique et leur donne la possibilité d'intégrer des acquis qui ne sont pas explicités jusque maintenant dans le plan d'étude. Ceci renvoie aux principes de pilotage et à la nécessité d'impliquer les acteurs dans la construction du projet, dans le respect des pratiques et des contextes.

5.2 Enjeux

- La **gestion du temps** ;
- La **coordination** d'un tel projet. Des compétences complémentaires sont fondamentales, au niveau de la pédagogie de l'enseignement supérieur, du domaine de formation visé, de la gestion de l'innovation et de la complexité ainsi que de la fonction-même de coordination. C'est le changement de poste d'une personne-clef dans la coordination qui a mis en lumière l'importance de ces compétences pour la réussite d'un tel projet.
- la **gestion de la complexité**, parmi les compétences de la coordination. Il s'agit de prendre des décisions en situation d'incertitude et de gérer un système multidimensionnel (exemple : le caractère multidimensionnel du référentiel lui-même). L'enjeu dans ce type de projet est de faire en sorte que cette complexité ne soit pas préjudiciable au projet de changement. Les décisions prises doivent donc viser le plus possible à faciliter la compréhension, à simplifier les propos, à réduire les dimensions quand c'était possible, à partir le plus possible des « mots » et des pratiques existantes, et à illustrer par des exemples.
- Equilibrer la référence à la théorie, les balises institutionnelles (CRUS, FKH et al., 2009) et le respect des pratiques existantes. Ainsi, la construction du plan d'étude est le résultat d'un **compromis** entre ces trois dimensions.
- Privilégier une **approche curriculaire** qui combine le complexe et le concret (Roegiers, 2010) : « *Le complexe parce que les études supérieures, quelles*

qu'elles soient, préparent à vivre et à travailler dans un monde complexe, dont il importe de retrouver le sens (Ladrière, 1984 ;Ziegler, 2007). Le concret, parce que, plus que jamais, dans le contexte international que nous connaissons, il est nécessaire d'évaluer les acquis des étudiants de manière plus précise et plus formelle. » Selon Roegiers, c'est l'approche curriculaire de la pédagogie de l'intégration qui permet le plus de combiner ces deux dimensions. Cette approche propose d'organiser la formation autour d'un noyau de compétences évaluables, qui correspondent à des familles de situations complexes face auxquelles les étudiants doivent pouvoir faire face au terme de leur formation. L'enjeu est donc d'éviter de juxtaposer des acquis de faible niveau d'intégration, mais de permettre à l'étudiant de les mobiliser dans des situations complexes ou des activités d'intégration comme des stages, un mémoire, un projet, une recherche, etc. A l'EPFL, ces situations (projets, mémoire, séminaire) existent déjà sans être formalisées et une nouvelle situation (des stages) verra bientôt le jour.

6 Quels sont les documents qui décrivent le programme ?

Nous récapitulons ici les différents documents qui constituent l'ensemble du programme des Ingénieurs mécaniciens EPFL (voir Figure 8).

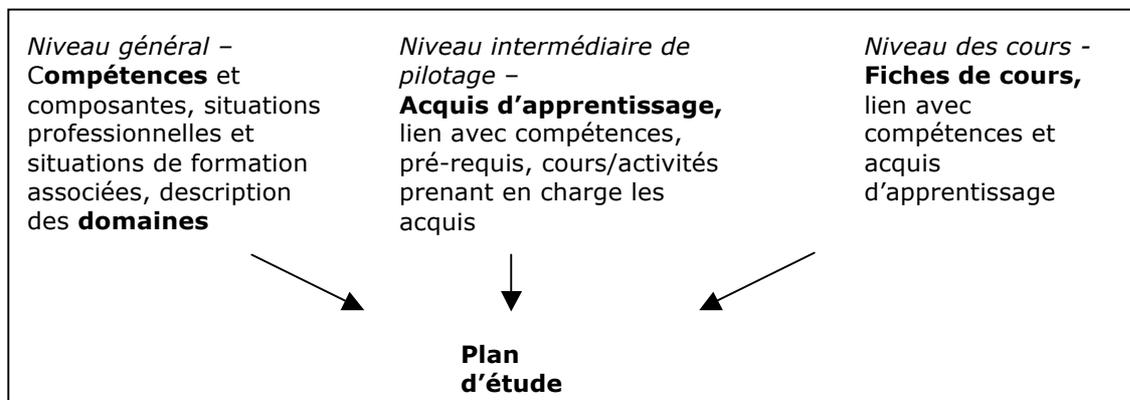


Figure 8. Documents de pilotage du plan d'étude

Le premier, « **Référentiel de compétences du diplômé ingénieur(e) Mécanicien(ne) EPFL** » couvre le niveau général, décrit les compétences attendues pour les ingénieurs mécaniciens EPFL, leurs composantes et leurs liens entre elles. Le lien avec la formation est établi par des exemples de situations de formation pouvant permettre de développer les compétences. Un deuxième lien est réalisé par la description des domaines de la formation : pour chacun, des profils professionnels sont décrits en lien avec les compétences visées.

Le deuxième document, considéré comme un document intermédiaire de pilotage du plan d'étude, décrit la manière dont les compétences sont prises en charge dans chaque domaine de la formation. Des **acquis d'apprentissage** (learning outcomes) ont été formulés en lien avec les compétences, pour couvrir les domaines de la formation. Pour chacun de ces acquis, les cours ou activités les prenant en charge sont précisés, ainsi que les pré-requis dans les savoirs de base.

Le troisième document concerne les **fiches de cours** ou d'activités (de type projet par exemple). En plus d'une description du contenu du cours, les acquis d'apprentissage pris en charge ainsi que le lien avec les compétences sont précisés (voir Figure 9). Ces fiches feront l'objet d'un développement par les enseignants à partir du semestre de printemps 2011.

| Fiche actuelle | Draft de la future fiche |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Objectifs • Prérequis • Contenu • Méthode d'enseignement • Bibliographie | <ul style="list-style-type: none"> • Compétences visées • Prérequis (Income) • Contenu • Situation d'évaluation • Acquis d'apprentissage (outcome) • Méthode d'enseignement • Travail attendu • Bibliographie • Liens avec les autres cours |

Figure 9 – La fiche de cours – actuelle et future

7 Perspectives de développement et de mise en œuvre du plan d'étude

- Une fois que les acquis auront été distribués sur les cours et activités existants, proposer de nouvelles activités pour les acquis qui ne seraient pas pris en charge ;
- Réaliser les fiches de cours
- Une fois les fiches de cours réalisées, réfléchir avec les enseignants à la cohérence entre les acquis visés dans leur cours, les méthodes pour les développer ainsi que pour les évaluer ;
 - Comment les compétences vont être évaluées ? Envisager l'utilisation d'échelles d'évaluation liées à des modèles d'apprentissage
 - Comment le Feedback va être donné sur les compétences ? A cet égard, le plan d'étude pourrait mettre en évidence comment les compétences vont pouvoir se développer au cours des 5 années de la formation.
- De manière à ce que le plan d'étude soit utile pour chacun des acteurs impliqués, l'équipe de coordination envisage une diffusion du plan d'étude via une interface électronique (voir maquette à la page suivante), selon les objectifs visés par chaque acteur :
 - pour l'étudiant, il aurait accès à ce plan d'étude en tant que plan d'étude personnel, en fonction d'un profil professionnel visé, qu'il se constituerait au fur et à mesure de sa formation ;
 - pour l'enseignant, le point d'entrée serait les acquis selon son domaine, qu'il choisirait pour créer sa ou ses fiches de cours ;
 - les éléments à intégrer sont les suivants :
 - Des acteurs
 - Des savoirs
 - Des compétences et leurs composantes
 - Des acquis d'apprentissage
 - Des niveaux de compétence
 - Des domaines
 - Des profils professionnels
 - Des activités d'apprentissage (cours, projets, séminaires, stages, travaux dirigés, exercices)

- Les usages du plan d'étude qu'il faudrait intégrer sont les suivants pour les différents acteurs envisagés
 - Etudiants
 - Choisir une orientation
 - Choisir des cours
 - Se préparer à la vie professionnelle
 - Compléter leur portfolio
 - Section
 - Piloter la formation
 - Se profiler par rapport à d'autre formation
 - Soutenir l'excellence de la formation
 - Enseignants
 - Intégrer ses enseignements au programme
 - Donner du sens à ses enseignements
 - Equilibrer la contrainte et la liberté académique
 - Négocier avec ses collègues
 - Evaluer
 - Employeur/panel industriel
 - Orienter son recrutement
 - Conseiller l'institution par rapport aux orientations offertes
- Le développement du plan d'étude de l'étudiant à partir des compétences devrait idéalement suivre le processus présenté à la figure 10. Un schéma sommaire de l'interface est présenté à la figure 11

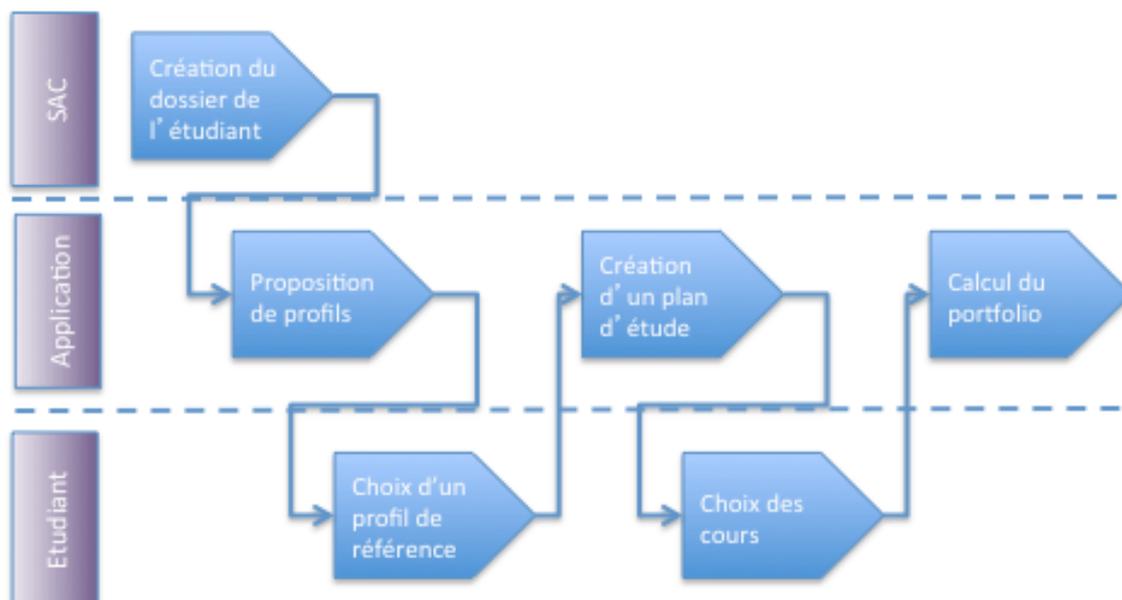


Figure 10 – processus de développement d'un plan d'étude basé sur les compétences



Figure 11 – Schéma de l’interface de l’étudiant pour la construction de son plan d’étude (1) choix d’u profil (2), choix des cours vs choix des acquis d’apprentissage, (3) comparaison des acquis avec un profil

- Réfléchir à la manière d’impliquer les étudiants dans la mise en œuvre de ce nouveau plan d’étude, pour qu’ils puissent se l’approprier ;
 - Présenter le programme en termes de compétences ;
 - S’assurer de la lisibilité du programme ;
 - Nécessité de faire changer d’optique les étudiants par rapport au programme (de consommateur à acteur)... leur donner la possibilité de devenir acteur ;)
- Diffuser les résultats de ce projet au monde professionnel et particulièrement aux participants à l’enquête ;
- Réflexion sur les perspectives de transfert à l’EPFL dans les autres sections.
- Le travail sur les connaissances de base : un groupe de travail va déterminer à partir des acquis des domaines, les acquis d’apprentissage de base. Ex : il y a des demandes spécifiques à faire aux SHS concernant les compétences 4 et 5.
- Comment gérer les prérequis à l’entrée dans la formation EPFL ?
 - Problème légal empêchant une sélection à l’entrée
 - Donc réfléchir à la manière dont on gère la sélection en 1^e année.

8 Perspectives de réutilisation de la méthode

Les documents mis à disposition devraient permettre à des équipes n’ayant pas participé au projet de « gagner du temps » pour leur propre démarche en ayant à leur disposition la proposition d’une démarche complète partant de l’analyse des besoins pour aboutir au plan d’étude ainsi que des modes de représentation (tableaux, schémas) adaptables en fonction de leurs besoins.

Dans la suite de ce paragraphe, nous formulons quelques recommandations relatives à cette réutilisation :

1. **L’enquête auprès des employeurs et des anciens étudiants** peut être reprise et adaptée. A cet égard, il est sans doute nécessaire de construire avec les collègues une représentation partagée et structurée du domaine de formation considéré : quels prérequis ? Quels savoirs fondamentaux ? Quels savoir-faire en recherche ou professionnels ? Quels savoir-être ? Quelles relations entre formation et pratique ? Quels enjeux spécifiques ? Le questionnement doit autant que possible rester très ouvert. Il est cependant souhaitable de réduire le nombre de questions.

Ce moment d’enquête est aussi une occasion d’entrer en contact avec les professionnels du domaine. Ainsi, pour s’assurer une meilleure participation, il est possible d’envisager un contact téléphonique préalable. Il est aussi judicieux de prévoir un moment de rétroaction à propos des résultats de l’enquête soit par courrier ou mieux encore par l’organisation d’un comité de conseil (« advisory board ») groupe de professionnels, experts et ancien-es pouvant conseiller le programme.

2. **La formulation des compétences proposées** correspond à une démarche d’analyse des données (essentiellement qualitatives) obtenues ainsi que de leur enrichissement au moyen d’autres référentiels déjà existants. Le nombre de compétences issues de cette analyse et leur formulation dépendront notamment du fait que l’on oriente la formation vers une profession ou vers la spécialisation dans un domaine disciplinaire sans pour autant viser une application professionnelle (Roegiers, 2010)¹⁰. Si l’on s’oriente, comme c’est le cas ici, vers une profession, différentes approches des compétences à développer pourront

¹⁰ Roegiers X. (2010). La révision des curricula en termes de compétences dans l’enseignement supérieur : quelques lignes de force dégagées de l’accompagnement de quelques institutions. *Colloque de l’AIPU, Rabat, Maroc.*

être envisagées en fonction du type de profession considérée. Ainsi, Delobbe (2010)¹¹ distingue :

- a. Une approche analytique ou approche par les savoirs, savoir-faire et savoir-être élémentaire
 - b. Une approche analogique ou approche par les savoir-agir complexes
 - c. Une approche comportementale ou approche par les savoir-être partagés
 - d. Une approche holistique ou approche par la capacité combinatoire transversale.
3. Enfin **les modes de présentation du référentiel** (tableaux, schémas, site web) peuvent être ré-exploités et adaptés. Une véritable démarche créative peut être initiée avec la collaboration des enseignant-e-s et étudiant-e-s.

9 Documents supplémentaires

Deux documents fournis aux conseillers sont recopiés ci-après

¹¹ Delobbe N. (2009) Modèles de gestion des compétences et orientations de la formation en entreprise , in J.-M. Barbier, E. Bourgeois, G. Chapelle et al.(Ed.), *Encyclopédie de la formation*, Paris : PUF, pp. 251-286.

Document 1 : Processus de construction au niveau des domaines, à destination des conseillers (projet Compétences SGM, juin 2010)

Question : comment les compétences attendues vont-elles être prises en charge dans chaque domaine de la formation ?

Le travail avec les enseignants de l'EPFL permet de prendre en compte l'existant de la pratique et des attentes propres, en les articulant au travail initial de formulation de compétences génériques, prenant en compte les attentes du monde professionnel.

Ce travail a été initié dans les ateliers qui ont permis de redéfinir les compétences elles-mêmes et leurs composantes, et de proposer des acquis d'apprentissage plutôt génériques. Il s'agit à présent d'intégrer les acquis spécifiques aux domaines. Ceux-ci étaient initialement situés dans la compétence 1 (C1.3 - mobiliser les connaissances des domaines). Lors des ateliers, la question de l'articulation de ces acquis avec les compétences centrales 2 et 3 s'est posée. Le projet est donc de réintégrer les acquis initialement situés dans la compétence 1 en les articulant avec l'ensemble des compétences mises en évidence et plus particulièrement les C2 et C3.

Un autre axe est de définir les domaines, les prérequis au domaine et les situations professionnelles spécifiques.

1. Elaboration des acquis d'apprentissage spécifiques par domaine en articulation avec les compétences (acquis_domaineX.xls)

Deux démarches possibles

1. Pour chaque compétence mise à jour (et plus particulièrement C2 et C3), identifier les acquis spécifiques.
2. Elaborer la liste des acquis et voir quelle compétence ils alimentent particulièrement.

Quelle que soit la démarche choisie, envisager les points suivants (voir acquis_domaineX.xls, grille développée par J.Cugnoni) :

- Pour dresser cette liste, la 1^{ère} question à se poser est : à la fin des études, qu'est-ce qu'il faut absolument/optionnellement que l'étudiant sache et soit capable de faire dans mon domaine?
- Formuler chaque acquis de sorte qu'il soit évaluable (ex: "expliquer les principes X" est évaluable alors que "maîtriser les principes X" : qu'est-ce que cela implique?) : le défi est de le définir de manière pas trop générale et suffisamment spécifique pour pouvoir l'évaluer.
 - o Voir document guide en annexe au besoin
- Il s'agit de faire autant que possible abstraction du plan d'étude actuel, les cours nécessaires étant envisagés dans un 2^e temps ;
- Par domaine, il s'agirait d'obtenir une liste raisonnable d'acquis : le défi est de cibler les acquis essentiels au terme de la formation. Ainsi, si on obtient une liste trop longue, une solution serait de prendre l'acquis le plus complexe dans la liste, qui représente le mieux ce qui est attendu ;
- Pour chaque acquis, spécifier le niveau de spécialisation dans le domaine (1, 2 et 3), s'il est transversal aux domaines, s'il s'adresse à d'autres domaines, ainsi que la ou les compétences concernées
 - o Le niveau de spécialisation 1 est considéré comme un acquis « obligatoire » pour tous les étudiants (cours obligatoire cycle Bachelor), la spécialisation 2 est une spécialisation légère qu'un grand nombre d'étudiant devraient avoir acquis (option cycle bachelor), la spécialisation 3 représentant un acquis « optionnel » fortement spécialisé destiné à une minorité d'étudiants (option cycle Master).
- Chaque acquis devrait s'adresser à une compétence : s'il en couvre plusieurs, peut-être est-il trop large ou peut-être faut-il réorganiser certaines composantes.
- Ce travail de définition est à considérer comme un exercice évolutif, pour lequel il s'agit de constituer une certaine base solide.
- Il s'agit d'un projet pilote pour la Suisse, il est donc important et nécessaire d'être originaux et critiques par rapport à la démarche.

Ex : travail de J.Cugnoni, acquis_meca_solides.xls

2. Définition des prérequis aux acquis du domaine (document acquis_domaineX.xls)

Dresser la liste des acquis d'apprentissage de base nécessaires pour le domaine.

- Pour dresser cette liste, la 1^e question à se poser est : pour pouvoir acquérir efficacement les acquis définis dans mon domaine, qu'est-ce qu'il faut absolument que l'étudiant sache et soit capable de faire?
- Pour chaque acquis du domaine (liste.xls), spécifier les acquis prérequis indispensables, soit en termes d'acquis, soit en thématiques, en spécifiant le domaine dont il est issu (ex : Mathématique : transformée de Fourier).

Ex : travail de J.Cugnoni, acquis_meca_solides.xls, et travail préparatoire dans le référentiel, p.6

3. Définition du domaine (referentiel_sgm_v4.doc, p.7)

Avec un ou plusieurs schémas ou cartes conceptuelles, accompagnés d'un texte explicatif, il s'agit de décrire le domaine en traitant ses :

- Questions centrales et problématiques,
- Concepts centraux,
- Domaines d'applications et perspectives

Ex : travail de J.Cugnoni, p.4

4. Définition de situations professionnelles spécifiques au domaine (referentiel_sgm_v4.doc, p7)

Fournir des situations professionnelles spécifiques au domaine qui illustrent les compétences visées.

Ex : travail de J.Cugnoni, p.5

Document 2 : Etapes pour définir les LOi

A partir d'une compétence

Par exemple :

Compétence 1 Comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique

Et de sa composante ou de ses composantes :

Par exemple :

C.1.3.. Mobiliser et partager ses connaissances spécifiques liées au domaine concerné

A propos d'un domaine :

Par exemple :

- *Conception et production*
- *Thermodynamique et énergétique*
- *Automatique et mécatronique*
- *Mécanique des milieux continus*

Décider quel type de connaissance est nécessaire

a. Des connaissances déclaratives ?

A propos de données particulières : une terminologie, des faits, des dates ou de moyens de les utiliser (conventions, classifications) ou de concepts, principes, algorithmes

Liste de verbes : arranger, collecter, définir, décrire, dupliquer, énumérer, examiner, trouver, identifier, étiqueter, inscrire, mémoriser, nommer, ordonner, décrire, présenter, citer, se rappeler, reconnaître, se souvenir, enregistrer, recompter, rapprocher, répéter, reproduire, montrer, exposer, dire.

Ou/Et

b. Des connaissances intégrées (savoir comment les utiliser, quand, pourquoi ?)

Avoir compris ces connaissances déclaratives (les avoir associées à d'autres connaissances et expériences) et savoir les utiliser en contexte

Liste de verbes :

Comprendre : Associer, changer, clarifier, classifier, construire, contraster, convertir, décoder, défendre, décrire, différencier, discriminer, discuter, distinguer, estimer, expliquer, exprimer, prolonger, généraliser, identifier, illustrer, indiquer, inférer, interpréter, situer, paraphraser, prédire, reconnaître, exposer, récrire, faire un compte-rendu, sélectionner, résoudre, traduire.

Appliquer : appliquer, évaluer, calculer, changer, choisir, compléter, calculer, construire, démontrer, développer, découvrir, employer, examiner, expérimenter, trouver, illustrer, interpréter, manipuler, modifier, opérer, organiser, pratiquer, prédire, préparer, produire, relier, planifier, sélectionner, montrer, faire un croquis, résoudre, transférer, utiliser.

Analyser : Analyser, évaluer, arranger, calculer, catégoriser, classifier, comparer, connecter, contraster, critiquer, débattre, déduire, déterminer, différencier, discriminer, distinguer, diviser, examiner, expérimenter, identifier, illustrer, inférer, inspecter, investiguer, organiser, décrire, indiquer, questionner, rapprocher, séparer, subdiviser, tester

Synthétiser : argumenter, arranger, assembler, catégoriser, collecter, combiner, compiler, composer, construire, créer, concevoir, développer, inventer, établir, expliquer, formuler, généraliser, générer, intégrer, inventer, faire, gérer, modifier, organiser, produire, planifier, préparer, proposer, réarranger, reconstruire, rapprocher, réorganiser, réviser, récrire, fonder, résumer.

Évaluer : évaluer, vérifier, argumenter, attacher, choisir, comparer, conclure, contraster, convaincre, critiquer, décider, défendre, discriminer, expliquer, évaluer, catégoriser, interpréter, juger, justifier, mesurer, prédire, noter, recommander, rapprocher/relier, résoudre.

Associer éventuellement ces connaissances avec un savoir être ou un savoir faire :

Savoir être : agir, adhérer, apprécier, questionner, accepter, répondre, assister, essayer, relever un défi, combiner, achever, se conformer, coopérer, défendre, démontrer (une croyance en), différencier, discuter, montrer, discuter,

embrasser, suivre, tenir, initier, intégrer, justifier, écouter, organiser, participer, pratiquer, rejoindre, partager, juger, louer, questionner, rapprocher, résoudre, soutenir, synthétiser, estimer

Savoir-faire : Adapter, ajuster, administrer, changer, arranger, assembler, équilibrer, plier, construire, calibrer, mettre en œuvre, combiner, construire, copier, concevoir, livrer, détecter, démontrer, différencier (par le contact), démonter, montrer, disséquer, conduire, estimer, examiner, exécuter, réparer, saisir, rectifier, manipuler, chauffer, identifier, mesurer, réparer, mimer, imiter, mélanger, opérer, organiser, exécuter (habilement), présenter, enregistrer, affiner, réagir, utiliser.

En justifiant ce choix

C'est-à-dire en montrant comment ces connaissances peuvent être mobilisées en situation : par rapport à des cas, des situations problèmes, telles qu'elles pourraient être demandées pour l'évaluation ou en stage.

En montrant comment ces connaissances peuvent être mobilisées par d'autres compétences : par exemple : C.1.1. Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés et C.1.4. Communiquer efficacement par oral et par écrit

Ou nécessiter des prérequis : C.1.2. Mobiliser et partager ses connaissances fondamentales et spécifiques du Génie Mécanique

Références :

De Ketele J-M, Chastrette M., Cros D., Mettelin P. & Thomas J. (1989). *Le Guide du Formateur*. Bruxelles : De Boeck.

Declan Kennedy, Áine Hyland, Norma Ryan *Writing and Using Learning Outcomes: a Practical Guide* www.bologna.msmt.cz/files/learning-outcomes.pdf

John Biggs (2003). *Teaching for Quality Learning at University* Buckingham: The Society for Research into Higher Education and Open University Press, ISBN 0-335-21168-2

ⁱ Learning outcomes are statements of what a learner is expected to know, understand and/or be able to demonstrate after completion of a process of learning.

Annexe 3

Projet de développement des plans d'étude
de BA et MA à la section de Génie
Mécanique de l'EPFL. *Congrès international
d'Actualité de la recherche en éducation et
en formation (AREF)*

**PROJET DE DEVELOPPEMENT DES PLANS D'ETUDE DE BA ET MA
A LA SECTION DE GENIE MECANIQUE DE L'EPFL**

Nathalie Deschryver*, Bernadette Charlier*, Jean-Marie Fürbringer, Rémy Glardon****

** Université de Fribourg
Didactique Universitaire
Boulevard de Pérolles 90
1700 Fribourg
deschryver.nathalie@gmail.com, bernadette.charlier@unifr.ch*

*** Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Section de Génie Mécanique
Station 9
CH-1015 Lausanne
jean-marie.furbringer@epfl.ch, remy.glardon@epfl.ch*

Mots-clés : *compétences, acquis d'apprentissage, programme de formation, enseignement supérieur*

Résumé. *Cette contribution présente la démarche et les premiers résultats d'un projet de définition de plans d'études de Bachelor et de Master en termes de compétences à la Section de Génie Mécanique de l'EPFL. Ce projet mené avec le soutien de la CRUS (Conférence des Recteurs des Universités Suisses) est réalisé de manière collaborative avec les enseignants de la section. La première étape a consisté en la réalisation d'une enquête auprès de 30 professionnels afin de connaître les besoins ressentis en matière de connaissances, savoir-faire et attitudes. Les analyses quantitatives et qualitatives ont permis une première formulation des compétences attendues d'un ingénieur mécanicien. Durant la seconde étape, réalisée avec la participation des enseignants, ces compétences ont été précisées et les acquis d'apprentissage correspondants, de même que des situations d'apprentissage et d'évaluation cohérentes, ont été formulés. Outre la description du projet, cette contribution sera l'occasion d'évaluer et de discuter ses enjeux, en particulier, en ce qui concerne l'implication des acteurs.*

1. Introduction

Ce projet de définition des plans d'études de BA et MA en termes de compétences à la Section de Génie Mécanique de l'EPFL s'inscrit dans les démarches actuelles de transformation des curricula de formation, initiées notamment dans le cadre du processus de Bologne.

L'objectif de ce projet est de construire un cadre de référence pour les programmes Bachelor et Master, à partir des compétences attendues de l'ingénieur mécanicien EPFL. Ceci doit permettre entre autres :

- de prendre en compte de manière intégrée toutes les facettes du métier de l'ingénieur mécanicien EPFL : savoirs, savoir-faire, savoir-être ;
- d'assurer la cohérence entre les objectifs de formation, les cours et les évaluations ;
- de créer le cadre nécessaire pour rassembler les enseignants autour du projet commun que constitue la formation d'ingénieurs mécaniciens compétents;
- de construire une représentation partagée de l'offre de formation ;
- de faciliter l'orientation des étudiants.

Pour assurer le succès de la mise en œuvre de ce nouveau programme, un processus de pilotage et d'amélioration continue a été initié. Il implique l'ensemble des enseignants de la section et il tend à établir une boucle de rétroaction entre les objectifs de formation, la définition des cours, l'enseignement, son évaluation, celle des apprentissages et les attentes de monde professionnel. Etant donné la nature du processus de formation d'un ingénieur (durée pluriannuelle de la formation, grand nombre d'acteurs, étendue, diversité et complexité des attentes) il est impossible d'effectuer un design de programme idéal pour ensuite essayer de le réaliser « à l'aveugle ». Les compétences propres de chacun, les approches spécifiques, la dimension humaine de l'enseignement et de l'apprentissage requièrent une collaboration de tous et une négociation à chaque étape. Le cercle vertueux de Demming (Plan-Do-Check-Act) doit être vu comme un processus continu qui d'année en année doit permettre de spécifier les objectifs, d'affiner les moyens et avec l'aide d'une ingénierie de la formation, faire tendre les diplômés vers l'excellence que l'institution recherche.

Un groupe de travail a d'abord été établi, rassemblant en plus de l'équipe de direction de la section, des enseignants des divers domaines et des ressources externes. A cette équipe sont venues s'ajouter, grâce à l'aide de la CRUS (Conférence des Recteurs des Universités Suisses), deux expertes en Sciences de l'éducation de l'unité Did@ctic l'Université de Fribourg (Prof. B. Charlier, Dr. N. Deschryver). Les étapes du travail sont résumées à la figure 1.

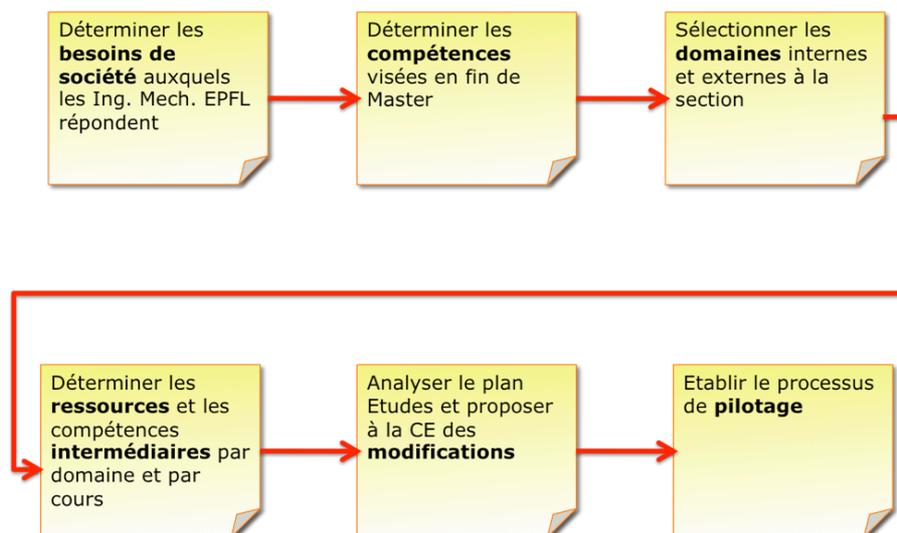


Figure 1 : Etape du de construction du programme

2. Construction à partir des attentes du monde professionnel

2.1 L'enquête

L'étape suivante de détermination des compétences a débuté par la construction de l'instrument d'enquête que devait permettre la détermination des compétences attendues. Les choix et catégorisation effectués dans cette étape sont les suivants :

- Le modèle de compétences est inspiré par l'approche de Le Boterf (2006) et celle de Tardif (1999). Pour Le Boterf, la compétence est l'habileté à mobiliser de manière efficace des ressources intégrées ou matérielles dans le but de répondre aux besoins d'une activité.
- L'espace des ressources intégrées est tridimensionnel avec un axe thématique, un axe décrivant la nature de la ressource et un axe d'approfondissement (Figure 2 :).

- L'axe thématique des savoirs et des savoir-faire contient les catégories standards de nos plans d'études, à savoir: sciences de base, sciences de l'ingénieur, technique et technologie, sujets connexes à l'ingénierie (comptabilité, droit etc...), sciences humaines et sociales.
- L'axe thématique des savoir-être intègre des catégories ad-hoc issues des discussions du groupe de travail, à savoir : éthique, innovation, esprit critique, sens des relations humaines, teamwork.
- L'axe d'approfondissement est inspiré par les travaux de B. Bloom tels qu'ils sont cités dans le BOK2 de l'American Society of Civil Engineers (ASCE, 2008). Pour les savoirs et les savoir-faire, les niveaux de Bloom ont été regroupés deux par deux en trois catégories : (1) savoir et comprendre, (2) appliquer et analyser, (3) synthétiser et évaluer. L'axe d'approfondissement des savoir-être n'a pas été évalué par le questionnaire.
- Le questionnaire évitait soigneusement de questionner sur le contenu des cours, mais se concentrait sur les habiletés attendues. Il demandait systématiquement 3 types d'appréciations : l'importance d'un élément donné, le niveau d'approfondissement requis et une argumentation de la réponse.

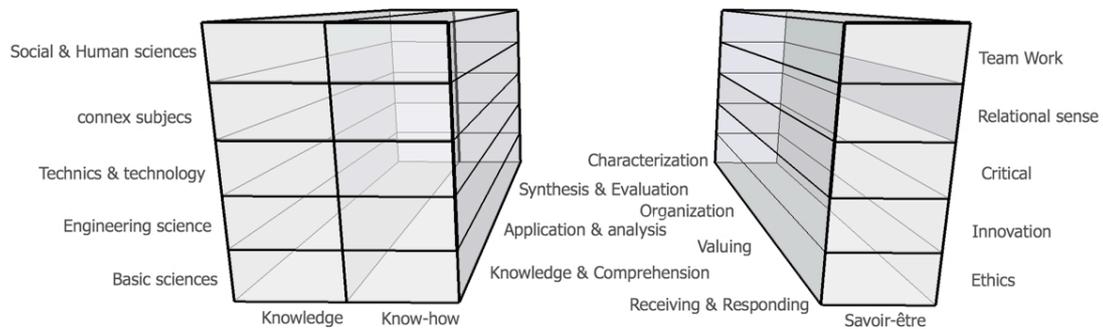


Figure 2 : Modèle utilisé pour l'enquête – structure tridimensionnelle

Le panel a été particulièrement difficile à réunir. Les contacts obtenus auprès des enseignants de la section et auprès de l'A3 (Association des alumni de l'EPFL) se sont révélés soit très biaisés (beaucoup de personnes avec les mêmes caractéristiques) soit non valables (Email non valide). D'autre part, le questionnaire relativement lourd est vraisemblablement aussi responsable de certains refus et défections. Voici un résumé succinct de ce panel :

- Questionnaires: 52 envoyés, 37 reçus
- Genre: 10 femmes, 42 hommes
- Alma mater: 32 EPFL
- Niveau académique: 12 PhD
- Entreprise: 12 PME, 27 grandes entreprises
- Industrie: 19 manufacturières, 3 eau et énergie, 4 transport

2.2 L'analyse quantitative et qualitative

Les données des 37 questionnaires reçus ont été traitées par une description des données quantitatives et une analyse qualitative. L'analyse qualitative a été réalisée avec le logiciel Atlas.ti. Comme précisé plus haut, l'analyse a consisté à un classement des commentaires en catégories. Le premier classement a été réalisé sur base d'une liste de catégories définies après une première lecture des commentaires. Ensuite, certaines données classées dans certaines catégories (Habiletés+connaissances, Connaissances, Qualités, Réalité du métier) ont été reclassées selon le référentiel de compétences des ingénieurs civils de l'Université Libre de Bruxelles de manière à profiter d'une réflexion déjà menée.

2.2.1 Les résultats quantitatifs

Le savoir et son acquisition sont des éléments considérés comme centraux dans l'éducation en général et en particulier dans la formation universitaire. Le savoir vient cependant en complément d'autres composantes essentielles qui sont acquises et/ou développées durant la formation. La détermination des savoirs à intégrer dans le cursus va permettre de définir les thématiques traitées dans les cours. Le développement exponentiel des connaissances nous oblige à des priorisations parfois drastiques, dans l'idée que certains savoirs laissés de côté par la formation universitaire pourront être acquis par la suite.

La Figure 3 : met en parallèle l'importance et le niveau d'approfondissement recommandés par le panel. Elle montre clairement que la base polytechnique est un élément clé de la formation. En effet,

- les sciences de base maîtrisées à un niveau d'application sont essentielles ;
- les sciences de l'ingénieur et la technologie sont attendues à un niveau de maîtrise maximal, avec une importance majeure donnée aux sciences de l'ingénieur (aspect méthodologique) par rapport à la technologie (aspect concret, connaissance de produits et de solutions spécifiques);
- les sciences humaines et sociales ainsi que la formation connexe sont perçues comme de moindre importance au niveau des savoirs et leur approfondissement recommandé est le niveau savoir-comprendre.

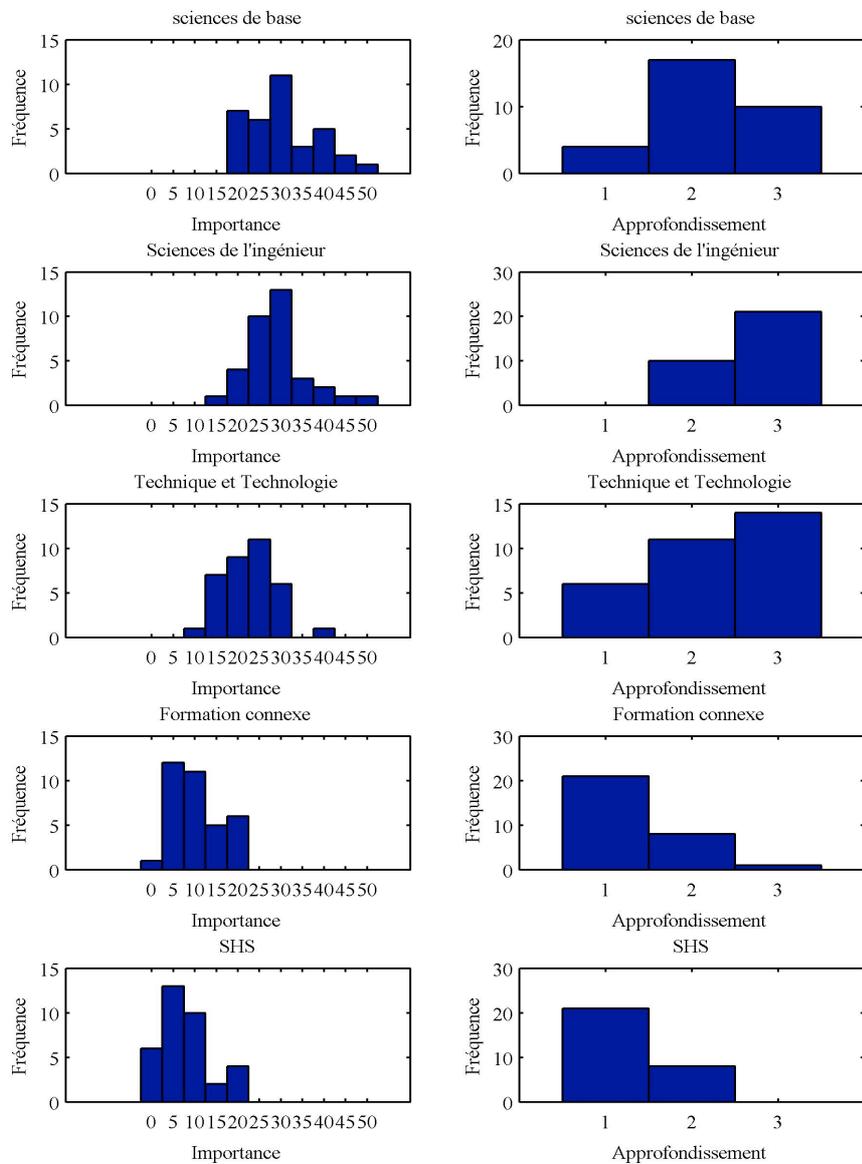


Figure 3 : Reconnaissance de la base polytechnique. A gauche est représenté l’histogramme des opinions au sujet de l’importance des différentes catégories de savoirs ; à droite se trouve l’histogramme pour le niveau d’approfondissement (1= savoir et comprendre, 2=appliquer et analyser, 3=synthétiser et évaluer).

Lorsque le panel s’est prononcé sur la priorisation et le niveau d’approfondissement des savoirs en sciences de l’ingénieur, 3 thèmes sont ressortis très nettement. Sur la Figure 4 : on peut observer qu’il s’agit de la conception, de la connaissance des matériaux et de la thermodynamique.



Figure 4 : Savoirs prioritaires et niveau d'appropriation

Le savoir-faire s'acquiert dans l'action et la réflexion sur l'action. Il se manifeste par des capacités de manipulation, d'observation, de mise en place de dispositifs, de réglage et mise au point qui permettent de mener à bien un certain nombre de tâches. Les questions visaient à déterminer quels savoir-faire sont nécessaires aux jeunes ingénieurs en mécanique, de mettre en évidence éventuellement des priorités et de déterminer le rôle de l'EPFL dans leur enseignement dans un souci d'équilibre entre l'employabilité à court et à moyen terme.

Les opinions du panel quant à l'importance des divers domaines de savoir-faire et son approfondissement recourent ce qui a été observé pour les savoirs. Plus spécifiquement, l'analyse quantitative des réponses au questionnaire relatives aux savoir-faire en science de l'ingénieur a abouti au classement des thèmes selon l'ordre de priorité suivant :

- (g) Méthodologie de résolution de problèmes
- (i) Gestion et conduite de projets collaboratifs
- (l) Méthodologie de conception
- (o) Techniques de présentation orale
- (h) Gestion et conduite de projets individuels
- (p) Techniques de présentation écrite
- (a) Techniques de mesure
- (b) Planification et conduite d'expériences
- (e) Techniques de simulation
- (j) Méthodologie et principes de modélisation et de calcul numériques
- (c) Méthodologie de programmation
- (q) Techniques de recherche documentaire (littératures, articles, brevets, specs, ...)
- (m) Maîtrise d'outils spécifiques de CAD-CAM
- (n) Méthodes du Systems Engineering
- (f) Maîtrise de logiciels spécifiques de simulation
- (d) Maîtrise de langages spécifiques de programmation
- (k) Maîtrise de logiciels spécifiques de modélisation et de calcul

Le terme « savoir-être » regroupe les différentes attitudes, façons de penser et d'aborder des problèmes ainsi que le sens des valeurs qu'un individu acquiert dans sa formation. L'enseignement intègre intentionnellement ou non une composante de savoir-être. L'objectif des questions était de déterminer les savoir-être nécessaires aux jeunes ingénieurs en mécanique, d'y introduire un ordre de priorité et de déterminer le rôle de l'EPFL dans leur enseignement. Les savoir-être sont

transversaux aux disciplines définies en introduction (Figure 2 :). Ils peuvent se développer et s'exercer dans chacune de ces disciplines. L'analyse des réponses a permis de les classer par ordre de priorité de la manière suivante :

- Esprit critique et curiosité
- Collaboration et teamwork
- Sens des relations humaines
- Esprit d'innovation et d'entreprise
- Valeurs éthiques et sens des responsabilités

On s'est aussi intéressé à l'attente de la part de l'entreprise au niveau du savoir-être maîtrisé par le jeune ingénieur. Les réponses ont unanimement montré que l'alternative était exclusivement entre les deux propositions suivantes :

- (a) Le savoir-être est absolument nécessaire pour assurer une bonne intégration du jeune ingénieur dans son premier emploi ;
- (b) Le savoir-être est nécessaire, mais avec des efforts le jeune ingénieur pourra l'acquérir lors de son premier emploi.

2.2.2 Les résultats qualitatifs

Un des premiers résultats de l'analyse qualitative est la liste des compétences et leur illustration par les citations de l'enquête.

Tableau 1 – les compétences de l'ingénieur mécanicien EPFL

| | |
|---|--|
| 1 | Comprendre, s'adapter rapidement et de communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique |
| 2 | A partir d'une réalité complexe, identifier, modéliser et analyser des problèmes en adoptant une approche scientifique, holistique et multidisciplinaire |
| 3 | Concevoir et mettre en œuvre des solutions innovantes, efficaces et durables dans une perspective d'entreprise et/ou de recherche |
| 4 | Agir en professionnel(le) responsable |

Le tableau ci-dessous reprend à titre d'illustration une composante de la compétence 1 et quelques citations qui ont conduit à leur définition.

Tableau 2 – Illustration d'une compétence et composantes

| Compétence 1 – composante 1.1 | Citations |
|---|---|
| 1. Comprendre, s'adapter rapidement et communiquer avec son environnement professionnel, technologique, écologique et économique | <i>comprendre d'un point de vue scientifique et analytique le monde qui nous entoure</i> P 2: A-Savoir-2.txt - 2:19 [(41:41) <i>L'ingénieur doit être capable de s'adapter à son environnement et comprendre les métiers qui peuvent exister au sein d'une entreprise</i> P 2: A-Savoir-2.txt - 2:7 (15:15) |
| C1.1 Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés. Ceci implique de : Mettre en œuvre des méthodes de recherche pour trouver de l'information pertinente Synthétiser, analyser, abstraire S'exercer et s'entraîner | <i>méthodologie d'apprentissage [] - savoir apprendre</i> P 2: A-Savoir-2.txt - 2:16 (27:32) <i>apprendre lorsque les connaissances font défaut</i> P12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:72 (55:55) <i>l'ingénieur doit savoir où sont les références</i> P 1: A-Savoir-1.txt - 1:24 (37:37) <i>L'analyse de la demande et l'abstraction pour raisonner sur des schémas, des principes, se retrouvent plus souvent chez l'ingénieur EPF</i> P11: B-Savoir_Faire-12-13.txt - |

| | |
|--|---|
| | 11:18 (24:24) <i>développer sa capacité de synthèse</i> P12: B-Savoir_Faire-14.txt - 12:23 (18:18) <i>s'entraîner à apprendre vite (et comprendre vite)</i> P21: C-Savoir Etre-23.txt - 21:13 (34:35) |
|--|---|

A côté de la contribution à la construction de la liste des compétences, d'autres données intéressantes ont été analysées dans les commentaires du panel de professionnels. Elles concernent leur perception de la formation de l'ingénieur mécanicien à l'EPFL, leurs attentes relativement à cette formation et leur évaluation de l'enquête.

2.3 Conclusion de l'enquête

On retrouve dans la liste des compétences, complétée par leurs composantes, l'image attendue d'un ingénieur scientifique capable de comprendre des situations complexes et de proposer des solutions innovantes à des problèmes technologiques. Cependant l'intérêt de cette liste est qu'elle est mieux structurée et priorisée que si elle avait été produite par compilation. De plus cette définition de l'ingénieur est validée par des avis externes et argumentée.

3. Les étapes de construction du cadre de référence du programme

Le cadre de référence du programme doit décrire les objectifs de la formation des ingénieurs mécaniciens EPFL :

- au niveau général : quelles sont les compétences attendues pour les ingénieurs mécaniciens EPFL ? Quels sont les liens entre elles ?
- au niveau des domaines : comment les compétences attendues vont-elles être prises en charge dans chaque domaine de la formation ?
- au niveau des cours : comment les compétences attendues vont-elles être développées dans les cours ?

3.1 Une première proposition de description du programme

L'équipe de coordination a commencé par proposer une description générale des compétences. Cette description a été entamée sur base des résultats de l'enquête. Suite à l'analyse des données qualitatives, la description de départ a été enrichie et une première liste de compétences a été proposée et discutée dans l'équipe de coordination du projet, et validée par l'organe de gestion de la Section de Génie mécanique.

3.2 Le travail de description par domaine

Après ce travail de construction au niveau général du programme, il s'est agi de préciser comment les compétences attendues sont prises en charge dans chaque domaine de la formation. Des équipes d'enseignants ont été constituées, avec pour chaque domaine (mécanique des fluides, mécanique des solides, biomécanique, automatique et mécatronique, conception et production, énergie) le conseiller pédagogique du domaine (qui a été le délégué par domaine) et les enseignants concernés. Pour préparer ce travail de construction par domaine, un travail préparatoire a été réalisé avec les délégués des domaines. L'objectif était d'articuler les compétences et les thématiques du domaine et de déterminer des acquis d'apprentissage.

Avant de démarrer les séances de travail avec les enseignants, une réunion d'information/discussion a été organisée avec les équipes des domaines pour leur présenter l'état d'avancement du projet et en discuter. Suite à cela, des séances de travail d'une demi-journée par domaine ont été organisées avec chaque équipe de travail/domaine : par ailleurs, des membres des autres équipes étaient également présents pour favoriser une certaine articulation entre les travaux.

Des membres de l'équipe de coordination et du Craft (service de l'EPFL chargé des questions de pédagogie universitaire) ont participé également à ces séances pour assurer la cohérence d'ensemble. Durant ces séances, les enseignants ont travaillé par groupe pour poursuivre la construction du programme : ils ont validé ou proposé des modifications sur base du travail préparatoire réalisé avec le conseiller du domaine. Les résultats de ces séances de travail ont donné lieu à une révision de la formulation de certaines compétences, des composantes et acquis d'apprentissage, à l'ajout de nouveaux acquis. A également été décidée une modification de la structure initiale des documents de description du programme.

Après ces séances de travail, un processus de construction plus détaillé a été proposé aux conseillers des domaines. Ce processus a été pensé de manière collaborative avec un des conseillers volontaires. Des séances de présentation de ce processus ont été organisées avec chaque conseiller. Chaque conseiller s'est alors organisé avec les enseignants de son domaine pour fournir une description des éléments suivants :

- Elaboration des acquis d'apprentissage spécifiques par domaine en articulation avec les compétences ;
- Définition des prérequis aux acquis du domaine ;
- Définition du domaine ;
- Définition de situations professionnelles spécifiques au domaine.

Le processus de construction est toujours en cours et donnera lieu à d'autres publications.

4. Evaluation du processus de construction

4.1 Apports de la participation à la construction

Lors des différents échanges avec les enseignants et notamment à l'occasion des séances de travail « au vert », les enseignants ont fait part d'un certain nombre d'apports dans leur participation à la construction, mettant en évidence que le processus de construction est aussi important que le résultat de la construction même :

- Clarifier comment on se situe par rapport au domaine et par rapport aux collègues ;
- Apprendre la démarche de construction du programme;
- Expliciter l'existant, les possibilités d'intégration des acquis qui ne sont pas explicités jusque maintenant dans le plan d'étude.

4.2 Difficultés

Un certain nombre de difficultés sont également apparues. Des solutions ont été trouvées pour certaines d'entre elles. Voici certaines de ces difficultés :

- Le temps pour entrer dans la démarche ;
- Faire le lien avec ce à quoi on doit arriver in fine au niveau de son cours : facilité par la présentation d'une fiche de cours présentée par un des enseignants, qui avait déjà initié une réflexion sur les acquis d'apprentissage ;
- Le morcellement occasionné par des thématiques pour les savoirs de base ;
- Le caractère multidimensionnel du référentiel (compétence, savoirs, académique/professionnel, interaction entre les domaines) ;
- La mise en cause des pratiques ;
- La coordination qui apparaît comme fondamentale pour la réussite de ce projet ;

5. Conclusion et perspectives

Ce projet de la Section de Génie Mécanique est un projet pilote pour l'EPFL. Il est donc important de pouvoir continuer à décrire au mieux le processus de construction ainsi que l'évaluation que nous en faisons.

Par ailleurs, un certain nombre de questions se posent actuellement et seront à traiter dans la suite du projet :

- Comment construire le nouveau plan d'étude sur base de ce cadre de référence ? Quelles priorités ? Quelles stratégies ?
- Comment les compétences vont être évaluées ?
- Comment faire adhérer les étudiants ?
- Quel retour faire au monde professionnel et plus particulièrement aux participants à l'enquête ?

Enfin, cette démarche sera réalisée en collaboration avec des collègues d'autres institutions confrontés aux mêmes défis. Une réflexion critique sur le concept de compétence et à propos des impacts de ce type d'approche sur les pratiques d'enseignement sera menée.

6. Références

ASCE (2008). *Civil Engineering Body of Knowledge for the 21st Century. Preparing the Civil Engineer for the Future*. Rapport. Reston, Virginia: ASCE.

Le Boterf, G. (2006). *Ingénierie et évaluation des compétences*. Paris: Éditions d'organisation.

Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Montréal: Éditions Logiques.