



HAL
open science

Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception

Catherine Perpignan

► To cite this version:

Catherine Perpignan. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception. Eco-conception. Université de Technologie de Compiègne, 2021. Français. NNT : 2021COMP2653 . tel-03692449

HAL Id: tel-03692449

<https://theses.hal.science/tel-03692449>

Submitted on 9 Jun 2022

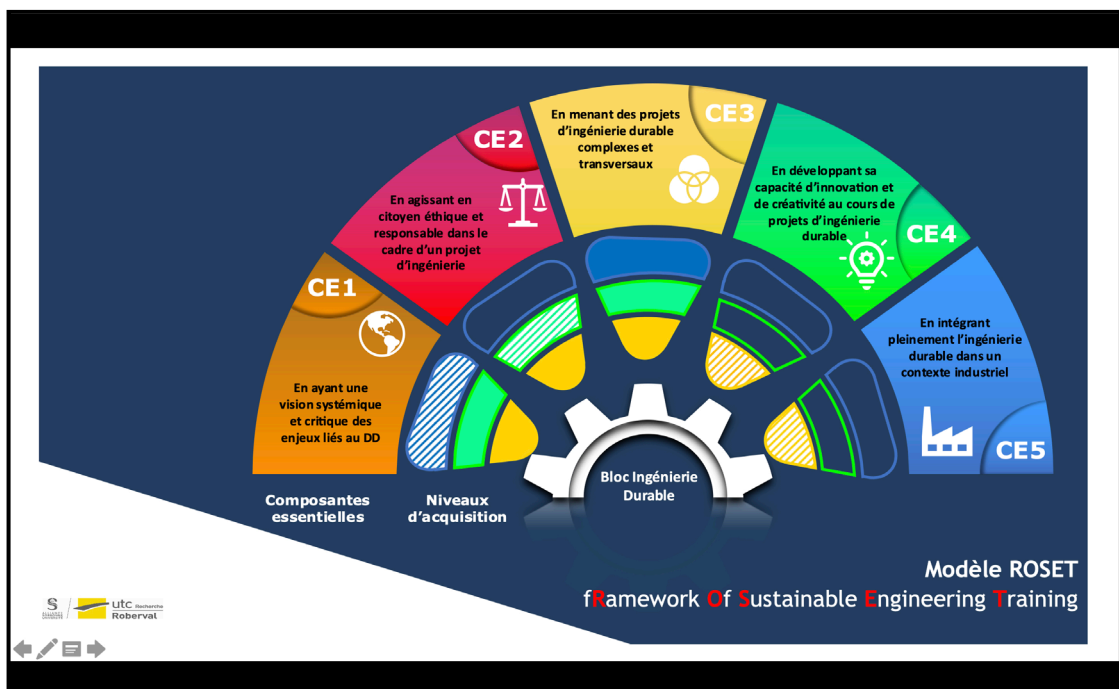
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Par Catherine PERPIGNAN

Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception

Thèse présentée
pour l'obtention du grade
de Docteur de l'UTC



Soutenue le 10 décembre 2021

Spécialité : Génie Industriel : Unité de recherche en Mécanique - Laboratoire Roberval (FRE UTC - CNRS 2012)

D2653

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE
ÉCOLE DOCTORALE « SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR »

THÈSE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

Discipline : Génie Industriel

Rédigée par

Catherine PERPIGNAN

Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception

Soutenue publiquement le 10 Décembre 2021

Devant le jury composé de :

William DERIGENT	Professeur des Universités, Université de Lorraine	(Rapporteur)
Peggy ZWOLINSKI	Professeur des Universités, Grenoble INP	(Rapporteur)
Benoît EYNARD	Enseignant Chercheur HDR, Université de Technologie de Compiègne	(Directeur)
Vincent ROBIN	Maître de Conférences, Université de Bordeaux	(Directeur)
Yacine BAOUCH	Enseignant, Université de Technologie de Compiègne	(Examineur)
Raoudha GAHA	Maître de Conférences, Université de Technologie de Compiègne	(Examineur)
Nicolas PERRY	Professeur des Universités, Arts et Métiers	(Président de Jury)
Flore VALLET	Enseignante-chercheuse, IRT SystemX, Paris-Saclay et CentraleSupélec, Université Paris-Saclay	(Examineur)
Gérald MAJOU DE LA DEBUTRIE	Chargé de mission DD&RS, Conférence des Grandes Ecoles	(Invité)
Alain PACHE	Professeur ordinaire, HEP de Vaud	(Invité)
Nadège TROUSSIER	Professeur des Universités, Université de Technologie de Troyes	(Invité)

Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques : application à l'écoconception

RESUME

La nouvelle génération d'ingénieurs doit être formée pour apprécier les impacts économiques, environnementaux et sociétaux de ses décisions, dans une perspective internationale et à l'échelle locale et mondiale. Accompagner la transition vers une ingénierie durable, former et être formé à cette ingénierie sont ainsi devenus depuis quelques années des enjeux majeurs pour la société, les industriels, les institutions de formation de tous niveaux, les enseignants et les étudiants. Dans un système à la fois mondial et local, collectif et individuel, concevoir, produire, vendre, utiliser et recycler des produits de plus en plus complexes sont autant de problèmes eux aussi complexes à résoudre pour les ingénieurs. Ils se doivent d'adopter une approche intégrative et systémique pour être prêts à relever de tels défis, qui dépassent les limites d'une seule discipline ou culture. Il est donc nécessaire de questionner la capacité du système éducatif actuel, et en particulier l'organisation et le contenu des formations supérieures en ingénierie, qu'elles soient initiales ou tout au long de la vie, à apporter une réponse adaptée à ces enjeux. Notre travail a consisté dans un premier temps à faire un état des lieux de l'intégration du développement durable dans les formations françaises pour identifier les forces et les faiblesses des programmes actuels. Partant de ce constat et en étudiant la littérature scientifique nous avons identifié les compétences et connaissances en ingénierie durable nécessaires à développer chez les étudiants et fait des propositions pour participer de l'évolution du système actuel. Nous les avons organisées dans un bloc de compétences en ingénierie durable et avons proposé un cadre de référence structurant – le modèle ROSET, pour aider les établissements, les équipes pédagogiques et les enseignants à concevoir leur offre de formation. Une démarche de mise en œuvre du modèle vient compléter et opérationnaliser le modèle. La dernière partie de ces travaux présente des exemples d'activités pédagogiques pour aider les enseignants à s'engager dans une nouvelle proposition éducative en s'appuyant sur ce cadre de compétences.

Mots clés : Ingénierie Durable, Enseignement, Formation Technologique, Compétences, Parcours Pédagogique

Definition of competencies framework for integration of sustainable engineering into technological curriculum: application to ecodesign

ABSTRACT

The new generation of engineers must be trained to measure the economic, environmental and societal impacts of their decisions, from an international perspective and on a local and global scale. Supporting the transition to sustainable engineering, training and being trained in this engineering field have therefore become major challenges for society, industry, training institutions at all levels, teachers and students from recent years. In a system that is both global and local, collective and individual, designing, producing, selling, using and recycling increasingly complex products are also complex problems for engineers to solve. They must adopt an integrative and systemic approach to be prepared to meet such challenges, which transcend the boundaries of any single discipline or culture. It is therefore necessary to question the capacity of the current education system, and in particular the organization and content of higher education courses in engineering, whether initial or lifelong, to provide an appropriate response to these challenges. Our work consisted initially in making an inventory of the integration of sustainable development in French training to identify the strengths and weaknesses of current programs. Based on this observation and by studying the scientific literature, we have identified skills and knowledge in sustainable engineering necessary to develop and have made proposals to participate in the evolution of the current system. We have organized them into a sustainable engineering competencies block and have proposed a structuring reference framework - the ROSET model. This model should help institutions, teaching teams and teachers to design their own training path. A model of the implementation process completes and operationalizes it. The last part of this work presents some examples of educational activities to help teachers who want to engage in a new educational proposition based on this framework of competences.

Key words: Sustainable Engineering, Education, Technological Curriculum, Skills, Teaching Path.

DEDICACE

A mon mari, mon soutien indéfectible, Sébastien

A mes fils, Camille et Gaspard

REMERCIEMENTS

Quatre années de travail qui s'achèvent...un long chemin, tortueux parfois (surtout dans ma tête), fait de rencontres et de solitude, de découragements et d'encouragements, de voyages et de visio, d'échanges et de débats, de bonnes idées et de mauvaises idées et l'impression parfois de ne jamais voir le bout de ce chemin. Mais ce manuscrit montre bien que j'en arrive à la croisée et qu'il est temps pour moi de faire le bilan de cette première étape pour poursuivre cette recherche sur l'ingénierie durable qui n'en est réellement qu'à ses débuts.

Pour atteindre cet objectif que je me suis fixée un jour de 2017 alors que j'approchais les 40 ans mais qui était en moi depuis de nombreuses années, je dois remercier mes encadrants qui sont les premiers à avoir cru en ce sujet et sans qui je n'aurai certainement jamais été au bout.

Je tiens donc à remercier sincèrement Benoît Eynard d'avoir accepté d'encadrer ces travaux et d'avoir défendu le sujet proposé alors que d'autres n'osaient pas ou ne croyaient à la pertinence de cette recherche, merci pour cette confiance. Il m'a également été tout au long de ces quatre années un réel soutien et a toujours su répondre à mes questions et mes doutes malgré la distance.

Je souhaite également remercier chaleureusement mon co-encadrant Vincent Robin. Il est le déclencheur de mon incursion dans le monde de la recherche, sans notre rencontre je n'aurai jamais imaginé pouvoir conduire ce projet. Vincent a su être disponible pour apaiser mes doutes et me remotiver les jours un peu sombres, je sais avoir abusé de sa patience... Merci de m'avoir écoutée, encouragée, motivée à persévérer, de m'avoir poussée à aller un peu plus loin dans ma réflexion. J'espère que nous continuerons à travailler ensemble sur ce thème ou sur d'autres.

Un grand merci également à Yacine Baouch, enseignant à l'UTC qui m'a régulièrement accompagnée dans ces travaux. Merci pour ta disponibilité, tes conseils avisés et la pertinence de tes remarques. Nos échanges ont toujours été productifs et efficaces et m'ont toujours permis d'avancer à chaque fois.

Je remercie Selma, étudiante à l'UTC, pour son précieux travail qui m'a permis d'avancer dans la dernière ligne droite de l'analyse des études de cas.

Je tiens à remercier Peggy Zwolinski et William Derigent pour la relecture de ces travaux et leurs conseils avisés. Pour avoir accepté de faire partie du jury de thèse, je tiens à exprimer toute ma gratitude à Rahouda Gaha, Nadège Troussier, Flore Vallet, Alain Pache, Gérald Majou de la Debutrie et Nicolas Perry.

J'adresse également mes sincères remerciements à Philippe Girard avec qui les premiers articles sur le sujet ont été écrits. Nos chemins se sont séparés mais je sais que tu as gardé un œil sur ce que je faisais, merci pour tes conseils avisés et ta bienveillance.

J'ai également une pensée pour mes collègues Saïd et Stéphane qui ont supporté mes discours sur ma thèse et qui ont compensé mes quelques absences. Une pensée également pour Christophe, thésard sur le tard comme moi, avec qui j'ai partagé les difficultés de tout mener de front. Mon collègue agenais, « l'homo Laugnacus » Denis, qui m'a accompagnée

dans divers projets de développement durable et qui m'a initiée aux problématiques de durabilité.

Enfin je pense à mes parents, je sais les avoir rendus fiers par ma détermination à aller au bout de ce projet même s'ils n'ont pas toujours compris ce que je faisais. J'entends mon père dire « j'ai confiance en toi ! ». C'est important de l'entendre qu'on soit enfant ou adulte.

J'adresserai de chaleureux et profonds remerciements à mes beaux-parents Brigitte et Michel toujours présents quand j'ai besoin d'eux, merci d'être toujours là pour moi. Autant que d'avoir rendu mes parents fiers, j'espère aussi vous avoir rendu fiers de moi.

Enfin je finirai par les personnes qui ont le plus subi cette thèse : Sébastien, mon mari et mes enfants : Camille et Gaspard. J'espère avoir montré à mes deux garçons qu'on apprend à tout âge et qu'il faut aller au bout des choses. Ma famille m'a permis de m'évader par moment et de trouver des soupapes de décompression nécessaires. Alors, merci au foot le samedi et le dimanche matin : pas d'aération ensoleillé ou pluvieux que je dois à mes enfants ;-)

Seb, je n'y serai pas arrivée sans toi c'est sûr ! Combien de fois j'ai voulu tout laisser tomber et tu étais là pour me remotiver, me montrer toutes les choses positives, juste me dire c'est bien, tu fais un super boulot...Ces dernières années ont été difficiles pour plein de raisons mais tu es toujours là pour m'apaiser, me reconforter, me soutenir : MERCI !

SOMMAIRE

RESUME	2
---------------	----------

REMERCIEMENTS	5
----------------------	----------

INTRODUCTION GENERALE	15
------------------------------	-----------

CHAPITRE 1. QUELLE PLACE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE DANS LE SYSTEME EDUCATIF EN FRANCE ?	19
--	-----------

1 INTRODUCTION	19
2 ÉVOLUTION DES METIERS : VERS LA PRISE EN COMPTE D'UN MONDE EN TRANSITION DANS LES FORMATIONS EN FRANCE	21
2.1 CADRE GENERAL DE L'INTEGRATION DU DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'ENSEIGNEMENT DU PRIMAIRE AU SUPERIEUR EN FRANCE	21
2.2 LE DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE ET SECONDAIRE	22
2.2.1 Le développement durable dans l'écosystème du primaire	22
2.2.2 Le développement durable dans l'écosystème du secondaire	25
2.2.3 Le développement durable et l'enseignement technologique du secondaire	27
2.3 LE DEVELOPPEMENT DURABLE DANS LES FORMATIONS SUPERIEURES	30
2.3.1 Parcours Bac+2 : STS, IUT et classes préparatoires	33
2.3.2 Les Licences	35
2.3.3 Synthèse de l'étude pour les formations du supérieur	35
3 CONCLUSION	36

CHAPITRE 2. SAVOIRS, COMPETENCES, OBJECTIFS DE FORMATION : UNE PEDAGOGIE A REPENSER	39
--	-----------

1 INTRODUCTION	39
2 L'ÉVOLUTION DES FORMATIONS TECHNOLOGIQUES ET EN INGENIERIE : DES COMPETENCES TECHNIQUES AUX COMPETENCES TECHNIQUES ET TRANSVERSALES	39
2.1 LES PRINCIPALES EVOLUTIONS DE LA FORMATION SUPERIEURE EN INGENIERIE AU COURS DU 20 ^{ÈME} SIECLE	39
2.2 CONDUITE DU CHANGEMENT DANS LES PROGRAMMES DE FORMATION EN INGENIERIE : D'UNE APPROCHE DISCIPLINAIRE A UNE APPROCHE PAR COMPETENCES	44
2.2.1 Approche par compétence	45
2.2.2 Approche programme	47
3 QUELLES COMPETENCES POUR QUEL PROFIL DE DIPLOME ?	51
3.1 LES COMPETENCES DES INGENIEURS ET DECIDEURS DE DEMAIN	51
3.2 ANALYSE DES REFERENTIELS DE COMPETENCES INGENIEUR ET LEURS SPECIFICITES	59
3.2.1 Référentiels non adossés à une démarche de conception d'un programme de formation	59
3.2.2 Référentiel adossé à une démarche de conception d'un programme de formation : l'approche CDIO (Conceive — Design — Implement — Operate)	69
3.2.3 Synthèse des compétences transversales pour la durabilité dans les référentiels de compétences ABET, ENAEE, CTI et CDIO	72
4 PROBLEMATIQUE DE L'INTEGRATION DE L'INGENIERIE DURABLE DANS LES FORMATIONS TECHNOLOGIQUES DU SUPERIEUR	75

**CHAPITRE 3. DEFINITION D'UN CADRE DE COMPETENCES POUR INTEGRER L'INGENIERIE DURABLE
DANS LES FORMATIONS TECHNOLOGIQUES DU SUPERIEUR** **83**

1	INTRODUCTION	83
2	METHODOLOGIE POUR DEFINIR LE CADRE DE REFERENCE	84
3	ETAPE 1 : SPECIFICATION DES COMPETENCES EN INGENIERIE DURABLE A DEVELOPPER PAR LES ETUDIANTS, DEFINITION DU BLOC « INGENIERIE DURABLE »	86
3.1	CARACTERISATION DES META COMPETENCES POUR LA DURABILITE DANS UN CONTEXTE TECHNOLOGIQUE	87
3.1.1	Méta compétence « Pensée systémique »	88
3.1.2	Méta compétence « anticipation »	89
3.1.3	Méta compétence « Esprit critique »	90
3.1.4	Méta compétence « compétence stratégique »	91
3.1.5	Méta compétence « collaboration »	92
3.1.6	Méta compétence « connaissance de soi » et « normative »	93
3.2	CARACTERISATION DES COMPETENCES TECHNIQUES ET TRANSVERSALES POUR LA DURABILITE DANS LES FORMATIONS TECHNOLOGIQUE ET EN INGENIERIE DURABLE	94
4	ETAPES 2, 3 ET 4 : DEFINITION DES COMPOSANTES ESSENTIELLES DU BLOC « INGENIERIE DURABLE », APPRENTISSAGES CRITIQUES ET SITUATIONS PROFESSIONNELLES ASSOCIES	95
4.1	COMPOSANTE ESSENTIELLE « EN AYANT UNE VISION SYSTEMIQUE ET CRITIQUE DES ENJEUX LIES AU DEVELOPPEMENT DURABLE »	97
4.2	COMPOSANTE ESSENTIELLE « EN AGISSANT EN CITOYEN ETHIQUE ET RESPONSABLE DANS LE CADRE D'UN PROJET D'INGENIERIE »	99
4.3	COMPOSANTE ESSENTIELLE « EN MENANT DES PROJETS D'INGENIERIE DURABLE COMPLEXES ET TRANSVERSAUX »	103
4.4	COMPOSANTE ESSENTIELLE « EN DEVELOPPANT SA CAPACITE D'INNOVATION ET DE CREATIVITE AU COURS DE PROJETS D'INGENIERIE DURABLE »	105
4.5	COMPOSANTE ESSENTIELLE « EN INTEGRANT PLEINEMENT LA SOUTENABILITE DANS UN CONTEXTE INDUSTRIEL »	107
5	ÉTAPE 6 : SELECTION DES RESSOURCES	108
6	SYNTHESE DU BLOC DE COMPETENCES INGENIERIE DURABLE	109

**CHAPITRE 4. DEMARCHE D'EXPLOITATION DU MODELE ROSET : EXEMPLES D'APPLICATION A DES
ACTIVITES DE FORMATION EN ECOCONCEPTION** **113**

1	INTRODUCTION	113
2	EXPLOITATION DU MODELE ROSET LORS DE LA CONCEPTION D'UNE OFFRE DE FORMATION	113
2.1	DEFINITION D'UN PROFIL DE DIPLOME	114
2.2	DEFINITION DES COMPETENCES A DEVELOPPER ET STRUCTURATION DE L'OFFRE	115
2.3	ÉVALUATION DES COMPETENCES	116
3	EXPLOITATION DU MODELE ROSET LORS DE LA MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE DE FORMATION	118
3.1	ORGANISATION INSTITUTIONNELLE DE L'OFFRE DE FORMATION	118
3.1.1	Définition des objectifs de formation	118
3.1.2	Identification des compétences académiques, des savoirs, des prérequis et des apprentissage critiques associés	121
3.2	DEFINITION DU DISPOSITIF PEDAGOGIQUE	124
3.3	ÉVALUATION DES ETUDIANTS, DE L'OFFRE ET DU DISPOSITIF	127
4	EXEMPLES D'UTILISATION DU MODELE ROSET DANS LE CADRE D'ACTIVITES DE FORMATION EN ECOCONCEPTION	131
4.1	DEMARCHE D'ECOCONCEPTION APPLIQUEE A DES GOURDES - NIVEAU NOVICE	131
4.1.1	Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues	131

4.1.2	Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif	134
4.2	DEMARCHE D'ECOCONCEPTION APPLIQUEE A UNE BOUILLLOIRE ELECTRIQUE – NIVEAU DEBUTANT AVANCE	135
4.2.1	Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues	135
4.2.2	Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif	139
4.3	DEMARCHE D'ECOCONCEPTION APPLIQUEE A UNE BOUILLLOIRE ELECTRIQUE – NIVEAU COMPETENT	141
4.3.1	Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues	143
4.3.2	Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif	147
5	CONCLUSION	149
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES		151
1	SYNTHESE DES APPORTS	152
2	LES LIMITES ET PERSPECTIVES DE NOS TRAVAUX DE RECHERCHE	153
BIBLIOGRAPHIE		157
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE PERSONNELLE		183
ANNEXES		185

Table des figures

Figure 1. Objectifs de développement durable	24
Figure 2. Voies d'orientation possibles dans le supérieur pour les élèves de Terminale	30
Figure 3. De l'écoconception vers l'ingénierie durable [Sheldrick & Rahimifard, 2013]	32
Figure 4. Compétence C12 – extrait du référentiel BTS CPI	34
Figure 5. Le changement d'orientation dans le contenu des cursus d'ingénierie [Rompelman, 2000]	42
Figure 6. Démarche de conception d'une offre de formation centrée sur les savoirs disciplinaires	45
Figure 7. Exemple d'architecture d'une approche par compétence [Legifrance, 2018]	46
Figure 8. Synoptique d'une approche programme incluant l'approche par compétences	48
Figure 9. Proposition de démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme	50
Figure 10. Top 10 des compétences recherchées par les entreprises en 2025 [WEF, 2020]	53
Figure 11. Modèle de compétences d'un ingénieur « T-shaped » [Spohrer & Gardner, 2015]	54
Figure 12. Les 8 compétences essentielles pour entrer dans une démarche de développement durable [UNESCO, 2017]	56
Figure 13. Illustration des compétences et valeurs en lien avec le DD à intégrer dans les programmes de formation	57
Figure 14. "Building blocks of knowledge, skills, and attitudes necessary to Conceive, Design, Implement, and Operate Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context (CDIO)" [Crawley, 2002]	69
Figure 15. Les 17 compétences essentielles identifiées dans le cadre de l'approche CDIO	71
Figure 16. Approche CDIO pour concevoir un programme d'enseignement [Crawley et al., 2014]	71
Figure 17. Principes et démarche pour l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur	81
Figure 18. Adaptation de l'approche de Poumay pour la définition des éléments constitutifs d'un cadre de compétences de référence en « ingénierie durable »	85
Figure 19. Évolution de la maîtrise de compétences en formation	86
Figure 20. Caractérisation de la méta compétence « pensée systémique »	89
Figure 21. Caractérisation de la méta compétence « anticipation »	90
Figure 22. Caractérisation de la méta compétence « esprit critique »	91
Figure 23. Caractérisation de la méta compétence « compétence stratégique »	92
Figure 24. Caractérisation de la méta compétence « collaboration »	93
Figure 25. Caractérisation de la méta compétence « compétence personnelle »	94
Figure 26. Compétences et valeurs à intégrer dans les programmes de formation en ingénierie durable	95
Figure 27. Composantes essentielles du bloc de compétences « ingénierie durable »	96
Figure 28. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « en ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable »	99
Figure 29. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « en agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet d'ingénierie »	102
Figure 30. Principales entrées structurantes de la norme ISO 14062	103
Figure 31. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux »	104
Figure 32. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En développant sa capacité d'innovation et de créativité au cours de projets d'ingénierie durable »	106
Figure 33. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En intégrant pleinement la soutenabilité dans un contexte industriel »	108
Figure 34. Codage utilisée pour la matrice des apprentissages critiques	109
Figure 35. Matrice des apprentissages critiques du bloc « ingénierie durable »	110
Figure 36. Cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques - Modèle ROSET	111
Figure 37. Etapes opérationnelles de la démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme	113
Figure 38. Compétences professionnelles issues des fiches ROME dans le domaine de la conception de produits	114
Figure 39. Exemple de matrice des apprentissages critiques et de compétences de fin de cursus pour un étudiant	117
Figure 40. Etapes opérationnelles de la démarche de mise en œuvre d'une offre de formation	118
Figure 41. Décomposition d'un objectif général de formation du BUT GMP	121

Figure 42. Exemple d'utilisation de la matrice ROSET	123
Figure 43. Description des situations professionnelles, des activités pédagogiques et des ressources associées à l'apprentissage critique CE3-3-4 à différents niveaux d'acquisition	125
Figure 44. Exemple d'un Modèle Cynefin appliqué aux infrastructures (Chester & Allenby, 2019)	126
Figure 45. Exemple de carte conceptuelle comme outil de formalisation et l'évaluation de la démarche suivie par un étudiant pour résoudre un problème d'ingénierie durable	129
Figure 46. Exemple de carte conceptuelle décrivant les éléments structurant une offre de formation, une activité pédagogique en ingénierie durable et leurs interconnexions	130
Figure 47. Compétences visées par l'étude de cas sur les gourdes	132
Figure 48. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « Démarche d'écoconception appliquée à des gourdes » - niveau novice	133
Figure 49. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude des gourdes	135
Figure 50. Compétences visées par l'étude de cas sur la bouilloire électrique à un niveau débutant avancé	136
Figure 51. Compétences et apprentissages critiques visés par l'activité « bouilloire électrique » au niveau débutant avancé	137
Figure 52. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « écoconception d'une bouilloire électrique » - niveau débutant avancé	138
Figure 53. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude de la bouilloire électrique au niveau débutant avancé	140
Figure 54. Profil type d'un étudiant à l'entrée du Master 1 parcours S2IT sur le bloc ingénierie durable	142
Figure 55. Profil type d'un étudiant à l'entrée du Master 2 parcours FTEDD sur le bloc ingénierie durable	143
Figure 56. Compétences visées par l'étude de cas sur la bouilloire électrique à un niveau compétent	144
Figure 57. Compétences visées par l'activité bouilloire électrique niveau compétent	145
Figure 58. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « écoconception d'une bouilloire électrique » - niveau compétent	146
Figure 59. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude de la bouilloire électrique au niveau compétent	149

Table des tableaux

<i>Tableau 1. Comparaison Ingénierie classique vs Ingénierie Durable</i>	42
<i>Tableau 2. État de l'art des compétences clés pour le développement durable [Perpignan et al., 2020]</i>	57
<i>Tableau 3. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par l'ABET</i>	61
<i>Tableau 4. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par l'ENAAE</i>	65
<i>Tableau 5. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par la CTI</i>	68
<i>Tableau 6. Synthèse de la référence ou non des compétences essentielles de l'UNESCO pour la durabilité dans les différents référentiels de compétences</i>	72
<i>Tableau 7. Comparaison du syllabus CDIO avec les référentiels ABET, ENAAE et CTI</i>	73
<i>Tableau 8. Tableau comparatif de l'approche CDIO et des approches programme et par compétence</i>	74
<i>Tableau 9. Difficultés liées à l'intégration du développement durable dans les cursus technologiques [Rampasso et al., 2018]</i>	76
<i>Tableau 10. Synthèse de notre enquête sur difficultés liées à l'intégration du développement durable dans les cursus technologiques en France</i>	78
<i>Tableau 11. Définition des niveaux de maîtrise d'une compétence [Dreyfus, 2004]</i>	86
<i>Tableau 12. Intégration dans les curriculums du modèle Cynefin inspiré de [UNESCO, 2021]</i>	127

Table des annexes

<i>Annexe 1. Acquis de formation pour les programmes de licence en ingénierie (ENAE)</i>	<i>186</i>
<i>Annexe 2. Acquis de formation dans le référentiel de la CTI.....</i>	<i>188</i>
<i>Annexe 3. Questionnaire sur les formations Post-Bac en ingénierie durable et réponses associées</i>	<i>190</i>
<i>Annexe 4. Questionnaire ET-LIOS - Module F et réponses associées</i>	<i>210</i>
<i>Annexe 5. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable »</i>	<i>226</i>
<i>Annexe 6. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet de conception ».....</i>	<i>227</i>
<i>Annexe 7. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux ».....</i>	<i>228</i>
<i>Annexe 8. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En développant sa capacité d'innovation et de créativité en menant des projets de soutenabilité ».....</i>	<i>229</i>
<i>Annexe 9. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En intégrant pleinement la soutenabilité dans un contexte industriel »</i>	<i>230</i>
<i>Annexe 10. Codes ROME associés pour un diplômé en BUT GMP</i>	<i>231</i>
<i>Annexe 11. Présentation des caractéristiques des 3 gourdes étudiées dans le cadre de l'activité pédagogique de niveau novice.....</i>	<i>232</i>

Introduction générale

« Les catastrophes écologiques qui se préparent à l'échelle mondiale dans un contexte de croissance démographiques, les inégalités dues à la rareté de l'eau, la fin de l'énergie bon marché, la raréfaction de nombre de minéraux, la dégradation de la biodiversité, l'érosion et la dégradation des sols, les événements climatiques extrêmes...produiront les pires inégalités entre ceux qui auront les moyens de s'en protéger, pour un temps et ceux qui les subiront. Elles ébranleront les équilibres géopolitiques et seront source de conflits. L'ampleur des catastrophes sociales qu'elles risquent d'engendrer a, par le passé, conduit à la disparition de sociétés entières. C'est hélas, une réalité historique objective ».
[Servigne & Stevens, 2015]

« Climate change has happened because of human behaviour, therefore it's only natural it should be us, human beings, to address this issue. It may not be too late if we take decisive actions today »
Ban Ki Moon, World Economic Forum Davos 2015

« Ice storm rolls from Texas to Tennessee - I'm in Los Angeles and it's freezing. Global warming is a total, and very expensive, hoax! »
Donald Trump, [Dec. 6, 2013](#)

Ces citations mettent en avant les différents points de vue sur l'état de notre planète. D'un côté les collapsologues ou écologistes radicaux qui relient différentes crises entre elles : crises énergétiques, économiques, environnementales, géopolitiques, démocratiques... et qui considèrent que la conjonction de ces crises pourrait conduire à l'effondrement de la civilisation industrielle et qu'il est inévitable [Diamond, 2006] [Servigne & Stevens, 2015]. A l'opposé les climato-sceptiques ou désormais auto-proclamés climato-optimistes qui tendent à minimiser le problème du réchauffement climatique et ses conséquences environnementales, économiques et sociales et qui considèrent que l'Homme n'est pas responsable de ce réchauffement par ses activités. Entre ces deux tendances extrêmes, nombre de chercheurs, scientifiques, politiques... travaillent à observer, analyser et quantifier les effets du changement climatique déjà visibles et à anticiper les impacts qu'ils pourraient produire sur notre société et notre planète. Comme le précise Ban Ki-Moon « *it may not be too late if we take decisive actions today* » [Ban Ki-Moon, 2015].

Scientifiquement, la première partie du rapport du GIEC¹ paru en Aout 2021² sur le réchauffement climatique [IPCC, 2021] montre que les changements sur l'évolution du climat ne prennent pas la bonne direction et que les perspectives envisagées lors des Accord de Paris en 2015 « en contenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements

¹ Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

² Le 7^{ème} rapport d'évaluation complet doit être publié courant 2022

climatiques » [UNCC, 2015] seront difficiles à atteindre. Les conclusions du rapport de 2021 ne viennent que confirmer celles du rapport de 2014 puisque le GIEC tirait déjà la sonnette d'alarme et indiquait qu'au rythme où nous allons il y aurait des « *conséquences irréversibles pour des siècles ou des millénaires* » [GIEC, 2014] et que le seuil des 2°C supplémentaire serait franchi en 2030. Malgré le déni de certains dirigeants, il est désormais prouvé que les analyses et conclusions du GIEC étaient correctes et que ce réchauffement est directement causé par l'homme et ses activités de par l'augmentation de ses émissions de CO₂. Il est donc urgent de réagir car si l'homme est responsable de cette situation il peut également agir pour contribuer à éviter le pire en modifiant ses modes de vie même si le changement et la transitions peuvent s'avérer « brutaux » : « *les scientifiques ont calculé que les émissions de CO₂ mondiales devaient diminuer de 7,6% par an à partir 2020, si l'on veut atteindre l'objectif de l'Accord de Paris* » [GIEC, 2018].

Le rapport du GIEC et les interventions de plus en plus fréquentes de scientifiques dans les médias font que les questions relatives au développement durable résonnent de plus en plus fort dans notre société. Des voix militantes, notamment chez les plus jeunes, sont apparues ces dernières années pour (r)éveiller la société à la question environnementale. C'est ainsi qu'est apparue dans le débat public Greta Thunberg, jeune militante suédoise qui bouscule les dirigeants politiques par ses prises de position pour la prise en compte des impacts humains sur le changement climatique. Elle est le symbole d'une génération engagée pour le climat, « *My generation will not give up without a fight* » [Davos, 2020] et qui relève « *d'une écologie politique, fondée sur l'intégration des enjeux environnementaux au sein de l'organisation sociale et économique : ces jeunes privilégient la sobriété à l'hubris, l'être à l'avoir, ainsi que tout ce qui permet d'arrêter de nuire aux générations futures* » [Robin, 2019]. En parallèle de ce mouvement, des marches pour le climat se sont organisées, réunissant des lycéens, étudiants qui souhaitent se mobiliser pour inciter les pouvoirs publics à prendre des décisions en faveur de l'environnement. C'est une frange de la jeunesse qui oblige les politiques à prendre leurs responsabilités et à agir. Ainsi, certains états comme la France mettent en place des consultations citoyennes comme la « convention citoyenne pour le climat » lancée au printemps 2019 par le président Macron. Elle devait permettre de faire des propositions répondant à un objectif qui était réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 (par rapport à 1990)³, dans un esprit de justice sociale. Quatre grands principes étaient visés, placer l'écologie au cœur du projet économique, concilier pleinement justice sociale et transition écologique, réussir l'aménagement de notre territoire et responsabiliser chacun. Finalement sur les 149 propositions faites : 18 ont été retenues intégralement, 78 ont été partiellement reprises par le gouvernement et 23 sont absentes du projet de loi. L'État est-il prêt à prendre des mesures qui peuvent parfois se révéler impopulaires pour les français et/ou les industriels car contraignantes ou changeant complètement le paradigme de la population qui ne détient pas encore toutes les clés de décryptage de la situation dans laquelle nous sommes ? Et les citoyens, sont-ils prêts à réaliser les efforts nécessaires pour remédier à la situation ? Lors de cette convention, les citoyens tirés au sort ont eu un temps dédié pour réfléchir aux problèmes, en prendre la mesure et réfléchir à des solutions. Ne faut-il pas dès à présent investir les lieux d'éducation pour que chacun ait ce temps de disponible pour informer, former, responsabiliser la majorité d'entre nous ? Au même moment, dans certains établissements du supérieur des associations

³ <https://www.ecologie.gouv.fr/suivi-convention-citoyenne-climat/>

d'étudiants se sont créées pour mobiliser leurs pairs mais également les enseignants et leurs futurs employeurs à l'importance du paramètre de durabilité (Pour un réveil écologique⁴, le Réseau Étudiant pour une Société Écologique et Solidaire⁵,...). Ces associations ont un écho de plus en fort auprès des politiques et des industriels. Elles ouvrent également le débat sur les enjeux environnementaux mais aussi sur les enjeux sociaux et économiques. Les établissements se saisissent parfois de ces questions mais nous assistons surtout à l'apparition de nouveaux partenaires tels que La fresque du climat, Résistance climatique, M ta Terre, le labo1.5, etc. qui s'emparent du sujet de l'éducation au développement durable au sein des écoles ou des universités avec des actions ponctuelles qui permettent une prise de conscience des citoyens. Or il devient nécessaire que le développement durable soit un « vrai » sujet d'éducation et de formation dont les enseignants se saisissent pleinement pour ainsi éviter que les étudiants succombent à la facilité des raisonnements simplistes et à court terme qui peuvent être présentés par des personnes mal informées ou les climato-sceptiques. La problématique est donc de savoir comment enseigner et former au développement durable qui regroupe différents thèmes et sujets de réflexion, et est par essence transdisciplinaire, alors que nous sommes dans un système qui fait encore souvent la part belle à l'enseignement disciplinaire ?

« Pour scruter le passé, le présent et l'avenir qui sont liés, mais non de façon linéaire, nous avons besoin d'armer l'intelligence par la reconnaissance et le traitement du complexe, nous avons besoin d'une connaissance et d'une pensée pertinentes, d'une ample prise de conscience, de décisions conscientes et responsables, d'une stratégie toujours en mouvement ».

Edgar Morin, le Monde Juillet 2021

C'est pour répondre à cette problématique dans le contexte des formations technologiques supérieures que les travaux que nous présentons ici ont pour objectif de proposer une méthodologie qui permette aux acteurs de la formation de définir et de mettre en œuvre un cadre de compétences en ingénierie durable dans les formations auxquelles ils participent ou qu'ils pilotent.

Dans le **chapitre 1**, nous verrons pourquoi des institutions nationales et internationales comme la CTI ou l'UNESCO, et de plus en plus d'entreprises militent pour que les principes et les pratiques du développement durable soient intégrés à tous les aspects de l'éducation et de l'apprentissage afin de favoriser l'évolution des connaissances, des valeurs et des attitudes, afin de rendre possible une société plus durable et plus juste pour tous. Nous présenterons l'intégration des concepts, savoirs et compétences associés au développement durable dans le système scolaire français ainsi que les attentes définies par les ministères de l'Éducation Nationale et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche à travers les recommandations institutionnelles. Une attention sera portée aux formations scientifiques et technologiques du secondaire au supérieur puisqu'elles correspondent plus particulièrement à notre objet d'étude. Cet état des lieux permet de situer l'ancrage et l'organisation de la formation au développement durable de l'enseignement primaire à l'enseignement supérieur (place dans les programmes et continuum). Nous analyserons les

⁴ <https://pour-un-reveil-ecologique.org/fr/>

⁵ <https://le-reses.org/>

Introduction générale

attentes de l'industrie en termes de savoirs, compétences et valeurs des futurs acteurs et décideurs et mettrons alors en évidence les points forts et les principaux axes d'amélioration du système actuel pour répondre aux enjeux de formation à venir pour les formations scientifiques et technologiques.

Le **chapitre 2** sera l'occasion de voir comment les établissements du supérieur se sont appropriés la question du développement durable et ont fait évoluer leurs offres de formation pour proposer des profils de diplômés répondant aux attentes du marché du travail ainsi qu'aux enjeux de durabilité actuels. Nous décrivons les processus de conception et de mise en œuvre d'une offre de formation et nous nous intéresserons tout particulièrement à l'approche par compétence et à l'approche programme. Ceci nous conduira à étudier plus précisément quels sont les savoirs, compétences et valeurs associés au développement durable qu'il faudrait intégrer dans les programmes de formation. Une analyse comparative des référentiels d'accréditation, des travaux de recherche et de deux enquêtes de terrain que nous avons menées quant à la place du développement durable dans les cursus d'ingénierie durable montrera combien il est difficile pour les établissements et les équipes pédagogiques de répondre à toutes les injonctions. Nous concluons ce chapitre en présentant les principes et la démarche pour l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur.

Cette conclusion nous permettra de présenter dans le **chapitre 3** un cadre méthodologique définissant les différentes compétences à mettre en œuvre et leurs interrelations dans une offre de formation. Nous verrons que l'enseignement de l'ingénierie durable mobilisent des valeurs et des méta-compétences communes à toutes les formations intégrant le développement durable et des compétences transversales et connaissances techniques propres à l'ingénierie. Le cadre méthodologique sera construit à partir de l'approche par compétence ce qui nous permettra de faire apparaître les composantes essentielles, les apprentissages critiques et les situations professionnelles propres à l'ingénierie durable à des niveaux d'acquisition différents qui formeront le bloc de compétences en ingénierie durable : le modèle ROSET.

Le **chapitre 4** sera ensuite consacré à la présentation de la démarche de déploiement du modèle ROSET pour concevoir et mettre en œuvre le bloc de compétences en ingénierie durable dans le cadre d'une formation. Nous illustrerons notre propos avec trois études de cas permettant d'opérationnaliser le modèle dans une logique d'acquisition progressive des compétences à travers des activités d'enseignement à l'écoconception. Ces activités qui ont pour la majeure partie d'entre-elles été menées auprès d'étudiants mettent en évidence la difficulté de construire progressivement les compétences dans un cursus en termes de 1. structuration de l'offre (quand faire telle ou telle activité ? Pour quelle progression ?), 2. de mise en œuvre (bien veiller à ce que les activités se déploient correctement et avec les bons objectifs) et 3. de suivi (comment suivre la progression des étudiants et adapter l'offre si besoin ?).

Au terme de ces quatre chapitres, nous ferons un bilan des apports de cette thèse et nous présenterons les perspectives qu'offre ce travail de recherche.

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

1 Introduction

Le concept de « développement durable » est apparu il y a maintenant plus de 30 ans dans le rapport Brundtland [Brundtland, 1987] et fait partie du quotidien de nos sociétés. Chacun à son niveau participe, ou non, à favoriser une évolution vers un monde plus durable. Pour caractériser les évolutions de nos sociétés modernes nous entendons souvent parler de transitions : transition énergétique, transition numérique, transition environnementale, transition écologique, transition économique, etc. Citoyens, entreprises, gouvernements, élèves dans les écoles, étudiants dans les établissements du supérieur, etc. jouent un rôle dans ce monde en transition. Néanmoins, dans ce monde en transition, il n'est parfois pas simple de mettre à profit sa volonté d'agir de par notre méconnaissance des enjeux liés à un développement « durable » de nos sociétés et par la difficulté apparente du défi qui s'ouvre à nous. Pour lever ces freins, des organisations internationales comme l'OCDE pour le Forum Economique Mondial (WEF) [WEF, 2020] et des travaux de recherche récents comme ceux de Ratcheva et Leopold par exemple [Ratcheva, 2020] ont mis en évidence que pour relever les défis environnementaux, économiques et sociétaux du XXI^e siècle nos sociétés devaient se concentrer sur la nature du travail et des emplois futurs. Cette réflexion amène à reconsidérer les compétences des futures générations pour que les actions et décisions prises par tout un chacun soient autant de réponses aux enjeux auxquels le monde est confronté. Pour répondre à cet enjeu, c'est donc aussi le défi de la formation initiale et tout au long de la vie qui doit être relevé : les connaissances et les compétences associées à ces emplois évoluent rapidement et de nouveaux modèles de formation appropriés doivent être développés pour faire face aux situations complexes, volatiles, ambiguës et incertaines (VUCA) causées par la conjoncture économique post-COVID et ses répercussions [Crawford, 2020]. Ces modèles s'appuieront sur de nouvelles approches d'apprentissage et prendront en compte les changements, l'obsolescence et les nouveaux ajouts de compétences numériques du XXI^e siècle ; ainsi que l'évolution des métiers et les besoins d'innovation et de leadership qui satisfont véritablement aux exigences sociales, technologiques et de durabilité d'aujourd'hui [Howells, 2018].

Une première étape en ce sens a été franchie il y a un peu plus d'une dizaine d'années. En effet, à la lumière des défis environnementaux auxquels le monde est confronté et compte tenu du rôle que l'éducation peut jouer dans le changement des attitudes, des comportements et des modes de vie des individus nous avons vu l'émergence de Éducation pour le Développement Durable (EDD – plutôt en Europe) ou Éducation pour la Durabilité (Education for Sustainability – plutôt dans les pays hors Europe) [Sarabhai, 2015] ; [UNESCO, 2012a]. Cela s'est traduit par des premières actions de sensibilisation, de renforcement des capacités et d'autres moyens éducatifs. Ainsi avec l'Agenda 21 de l'ONU à Rio de Janeiro en 1992, les Forums mondiaux sur l'éducation de 2012 [UNESCO, 2012b] et 2015 sous l'égide de l'UNESCO, le Sommet de l'ONU sur le développement durable en 2015, au cours duquel les 17 objectifs de développement durable pour 2030 [Ki-Moon, 2014] ont été présentées, les réflexions quant à la mise en place d'un système d'éducation de qualité dans le monde qui

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

entérine un changement dans les connaissances, compétences et attitudes pour mener à une société plus durable ont été lancées [Nolan, 2012] ; [Leicht et al., 2018] ; [UNESCO, 2020].

L'un des objectifs de l'EDD est de transmettre les valeurs liées à la durabilité aux élèves et aux étudiants pour ainsi avoir une action sur leurs comportements et leurs décisions : se concentrer sur les attitudes des élèves et des étudiants plutôt que sur leurs résultats d'apprentissage. L'ambition affichée est de développer un système aussi large que possible dans lequel il n'est plus simplement question de fournir aux apprenants les connaissances et compétences nécessaires au XXI^e siècle mais aussi de leur permettre d'acquérir les principes, compétences et valeurs nécessaires qu'ils utiliseront pour façonner un avenir durable [UNESCO, 2012b]. Pour mesurer et évaluer efficacement l'intégration de l'EDD, l'UNESCO dépositaire de ce plan ambitieux a lancé de multiples actions internationales et initiatives régionales et compilé plusieurs rapports dans lesquels une évaluation systématique de l'intégration des ODD et de l'EDD dans les politiques et les systèmes scolaires a fait l'objet d'un suivi : Décennie de l'éducation au développement durable (DEDD) de 2005 à 2014 [Benavot, 2014], Programme d'action global (GAP) (2015-2019) et le Projet des écoles en réseau associées à l'UNESCO (réSEAU) [UNESCO, 2019], et le lancement récent de la feuille de route Éducation au développement durable pour 2030 [UNESCO, 2020]. Les rapports et études mettent en évidence que les gouvernements et les institutions en charge de l'éducation et de la formation ont intégré les concepts de développement durable et de durabilité dans les disciplines enseignées telles que les mathématiques, les sciences et technologies, le français, les langues vivantes, l'histoire-géographie, les sciences sociales, etc. Cette intégration permet de couvrir de larges thèmes tels que : la citoyenneté mondiale, la sensibilisation et préservation de l'environnement, la prospective et la réflexion sur l'avenir, la justice sociale, l'éthique et le bien-être. La majeure partie de ces thèmes sont des concepts inclus dans les 17 ODD [Fiselier et al., 2018] ; [UNESCO, 2020].

Cette large couverture montre bien que le concept de durabilité a été initialement évoqué plutôt par le biais de notions liées à l'environnement. Cependant le concept a évolué et aujourd'hui il est considéré comme « *un concept holistique qui prend en compte les aspects sociaux, économiques, dimensions politiques et naturelles* » [Davis, 2010]. De nombreuses recherches ont mis en évidence que les évolutions programmatiques et pédagogiques font que les élèves sont aujourd'hui plus conscients de leur comportement vis-à-vis de leur environnement et de ses ressources naturelles, et qu'ils sont sensibles à ce qu'est un citoyen du monde et à comment s'impliquer davantage dans la société en s'engageant activement dans le maintien de la communauté et dans la recherche de solutions aux problèmes sociaux, économiques et environnementaux [Martin & Ho, 2009], [Eames et al., 2010], [Mula & Tilbury, 2011], [UNESCO, 2012a], [Nolan, 2012], [Yuan & Zuo, 2013], [Du et al., 2013], [Hestness et al., 2015], [Laurie et al., 2016], [Seatter & Ceulemans, 2017], [Buil-Fabregá et al., 2019]. Ce dernier aspect a été souligné par l'ancien secrétaire général des Nations Unies Ban Ki-moon qui considère l'EDD comme un levier pour favoriser la citoyenneté mondiale car ce type d'éducation est « *plus que l'alphabétisation, la numératie et la préparation à l'entrée sur le marché du travail, est aussi et surtout une question de citoyenneté [...] qui doit aider les gens à forger des sociétés plus justes, pacifiques et tolérantes* » [Laurie et al., 2016].

L'EDD a donc contribué à faire que l'éducation soit passée d'un objectif de « *produire une main-d'œuvre bien équilibrée qui servirait avant tout la croissance économique et*

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

contribuerait à sa compétitivité » à un objectif d'être « *un catalyseur d'une forme de citoyenneté mondiale, de justice sociale et de durabilité* » [Cooke & Leydesdorff, 2006], [Andrews, 2015], [Laurie *et al.*, 2016].

Qu'en est-il dans le système éducatif français ? L'EDD y a-t-elle une place et comment est-elle prise en compte dans les enseignements ?

2 Évolution des métiers : vers la prise en compte d'un monde en transition dans les formations en France

2.1 Cadre général de l'intégration du développement durable dans l'enseignement du primaire au supérieur en France

De 2005 à 2014 l'UNESCO a mis en place la Décennie des Nations Unies pour l'éducation au service du développement durable. Ce plan avait pour but « *d'intégrer les principes et les pratiques du développement durable à tous les aspects de l'éducation et de l'apprentissage afin de favoriser l'évolution des connaissances, des valeurs et des attitudes, et ce afin de rendre possible une société plus durable et plus juste pour tous* » [Buckler & Creech, 2014]. Chaque état pouvait ainsi décliner ses propres stratégies éducatives et les gouvernements ont incité fortement les écosystèmes éducatifs à s'emparer de la question du développement durable dans les curricula. Ainsi au cours de ces dix dernières années la notion de développement durable a pénétré progressivement les différents champs disciplinaires de l'éducation [Diemer, 2013].

On remarque que de nombreux pays ont accordé une place prépondérante à l'éducation au développement durable (EDD) dans leurs programmes scolaires. Dès leur plus jeune âge et tout au long de leur cursus de formations, les apprenants sont appelés à comprendre les enjeux environnementaux, économiques et sociaux et à être formés à la sélection et la prise de décision [Orange-Ravachol *et al.*, 2013]. Pour acquérir de telles compétences les injonctions institutionnelles indiquent que l'EDD ne doit pas être une nouvelle discipline mais une intégration au-delà des disciplines qui oblige à créer une nouvelle organisation des disciplines existantes [Musset, 2010].

Pour mettre en œuvre ces cinq enjeux majeurs et rendre efficiente l'EDD, l'organisation des disciplines et la place de l'EDD doivent être construites et réfléchies de l'école primaire à l'université. Les élèves doivent être sensibilisés le plus tôt possible à ces questions et ces concepts.

Ainsi, la France et d'autres pays européens ont fait évoluer leurs systèmes éducatifs en vue d'intégrer les concepts de développement durable. L'EDD apparaît dans les programmes de l'école primaire à l'université avec pour objectif d'aider les enfants, les adolescents et les étudiants à identifier : les « valeurs durables » et faire des liens entre les connaissances, les comportements et la réalité en matière de développement durable en vue d'améliorer leur pensée complexe avec des visions prospectives et systémiques des problèmes à résoudre. L'éducation pour le développement durable correspond ainsi à une insertion contemporaine d'un projet et d'une vision politique du développement durable dans le domaine de l'éducation.

Dans le contexte français, l'EDD apparaît dans les programmes en 2007 comme une approche transversale entre les disciplines existantes et non pas comme une nouvelle

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

discipline. Les programmes mettent l'accent sur le fait qu'il est nécessaire « *de créer des liens entre les différentes disciplines, en considérant un problème local ou global, pour aider les élèves à comprendre les interdépendances et la complexité du monde* ». L'EDD est un axe fort de la stratégie nationale pour une transition écologique et le développement durable.

Toutefois force est de constater que l'école primaire sensibilise et prépare les enfants à la protection de l'environnement par le biais des écogestes mais n'entre pas dans une compréhension systémique du monde et de ses enjeux. Ainsi « *si les prescriptions de l'Éducation Nationale imposent l'enseignement du développement durable, il n'en reste pas moins que les problèmes de société, civiques et politiques, sont difficiles à faire entrer à l'École, d'autant que la définition et les projets de développement durable sont sujets à controverse* » [Considère & Tutiaux-Guillon, 2013]. Ce positionnement de réaction n'aide pas vraiment les élèves à avoir à une réflexion plus globale, plus proactive sur le développement durable.

Les élèves du secondaire, au collège, sont quant à eux confrontés à une vision souvent conceptuelle et aux contours relativement mal définis du développement durable orientée sur : le rôle de l'homme dans les modifications de l'environnement, les interdépendances des hommes dans la société, la nécessité de faire des choix responsables et le besoin d'une solidarité à l'échelle mondiale. Ces concepts sont présentés dans différentes disciplines et les interactions entre les disciplines sont peu ou pas effectives [Kovacs, 2012]. Les connaissances que les élèves ont déjà pu (ou non) acquérir à l'école primaire ne sont quasiment jamais mobilisées et réinvesties.

Finalement on remarque qu'il n'existe pas vraiment un continuum de l'EDD entre l'école primaire et le collège. Bien souvent les concepts de développement durable ne sont pas vraiment bien compris par les élèves (les cinq enjeux de l'EDD, la pensée complexe et prospective, la vision systémique, etc.). Dans l'enseignement secondaire, de nombreuses disciplines abordent le concept de développement durable avec leur propre vision (à savoir une vision non intégrée) et une approche par des actions individuelles : « un geste pour la planète ».

Toutefois, depuis Septembre 2015, une nouvelle étape est engagée. 193 pays ont adopté à l'ONU le Programme de développement durable à l'horizon 2030, qui définit 17 objectifs de développement durable (ODD) qu'il faut atteindre d'ici 2030. Les ODD vont devenir un support pour aborder le développement durable dans toute sa complexité et en ne favorisant plus seulement le seul aspect environnemental dans l'éducation chaque formation pourra s'en emparer.

Nous allons dans les paragraphes suivants nous intéresser plus particulièrement à l'intégration du concept de développement durable dans les formations primaires, secondaires et supérieures en France.

2.2 Le développement durable dans l'enseignement primaire et secondaire

2.2.1 Le développement durable dans l'écosystème du primaire

La formation au développement durable a commencé à formellement intégrer les programmes scolaires à l'école primaire en 2004 avec l'éducation à l'environnement pour le développement durable (EEDD) [Ministère Éducation Nationale, 2004]. La question du

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

développement durable pouvait être abordée en s'appuyant sur les disciplines enseignées sans qu'il y ait une modification des programmes scolaires mais une incitation à identifier des points de vigilance sur cette question qui pouvait amener à organiser des débats par exemple avec les élèves.

En 2008 l'éducation au développement durable (EDD) est intégrée officiellement dans les programmes scolaires de l'école primaire [Ministère Éducation Nationale, 2008]. La notion de compétence pour l'EDD fait également son apparition [Bregeon et al, 2008]. L'EDD apparaît alors comme une approche transversale entre les disciplines existantes et non pas comme une nouvelle discipline. Dans les programmes de l'école primaire, l'EDD est intégrée dans les disciplines existantes et traite essentiellement de quatre pôles : la biodiversité, l'évolution des territoires, la gestion des milieux et des écosystèmes. Ces pôles se réfèrent à différents domaines tels que : l'agriculture et la pêche, la forêt, le climat, l'énergie, la faune et la flore, le patrimoine, la pollution, les relations entre les hémisphères nord et sud, le commerce équitable, l'éco-citoyenneté, la santé, le tri des déchets, etc... L'objectif est de présenter la complexité du monde et les différents leviers d'action du développement durable. L'étude de ces pôles et les choix de domaines dépendent de chaque professeur et ils sont généralement basés sur une approche plutôt « environnementale ». En effet cette « dimension *environnementale* reste souvent la plus abordée par les enseignants du premier degré, à la fois pour des raisons curriculaires (ancrages dans les programmes) et aussi parce que cela correspond à la représentation que les enseignants du premier degré ont de cette EDD » [Chalmeau et al., 2020].

Cet accent mis sur la notion des éco-gestes (gaspillage de l'eau, gaspillage alimentaire, tri des déchets, économie d'énergie, recyclage, ...) et la prise de conscience de l'impact de l'homme au quotidien sur l'environnement ont été réaffirmés en 2013 puisqu'ils correspondaient aux objectifs fixés par la loi d'orientation et de programmation pour la refondation de l'École de la République [Légifrance, 2013]. L'année 2013 a aussi été l'année au cours de laquelle le Ministère de l'Éducation Nationale a souhaité positionner le développement durable sur plusieurs niveaux : la formation des élèves mais aussi la formation des personnels de l'éducation nationale (enseignants et encadrement) et l'intégration de ces principes au niveau des établissements dans leur gestion, leur organisation, etc. avec la démarche E3D (École ou Établissement en Démarche globale de Développement Durable) [Ministère Éducation Nationale, 2013]. Cette volonté a été réaffirmée en 2015 quand l'état français (et les autres états membres de l'ONU) a adopté l'Agenda 2030 qui vise à atteindre les 17 objectifs de développement durable (Figure 1) [UN, 2015].

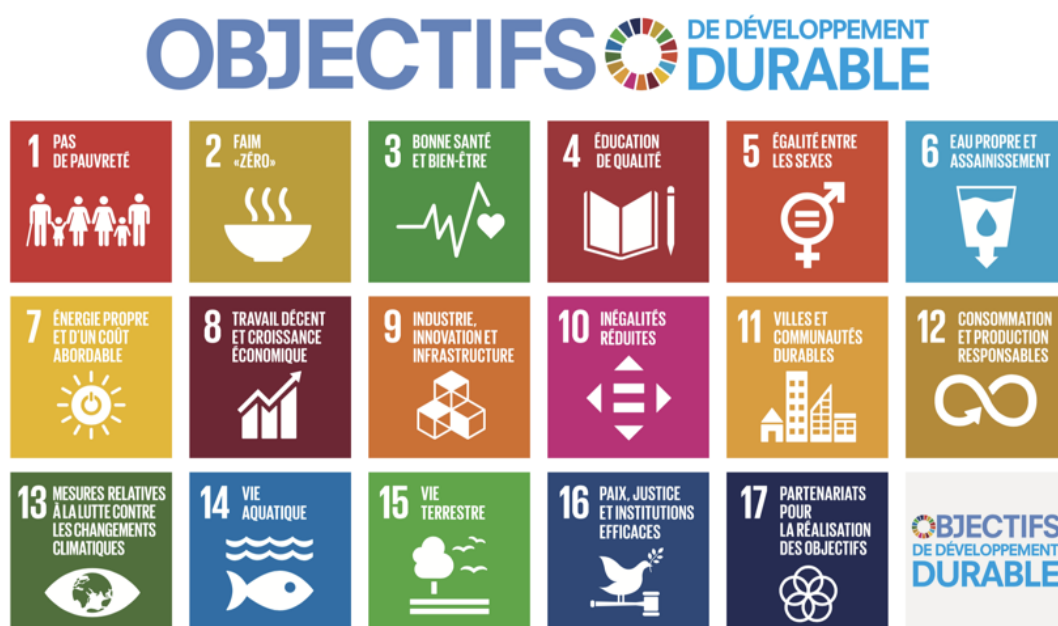


Figure 1. Objectifs de développement durable

Enfin, à la rentrée 2020 les programmes des cycles 1, 2 et 3 (école maternelle et élémentaire) ont fait l'objet d'un renforcement des enseignements relatifs au changement climatique, à la biodiversité et au développement durable. En effet, face aux défis environnementaux contemporains et à leurs conséquences, ainsi qu'aux demandes sociales, la Ministère a proposé de consolider l'EDD autour de sept piliers [Ministère Éducation Nationale, 2020] :

1. L'Agenda 2030 ;
2. L'enrichissement des programmes en matière d'EDD ;
3. L'encouragement à l'engagement des jeunes et de l'institution ;
4. Un pilotage national et académique renforcé ;
5. Une offre de formation pour les encadrants et les enseignants ;
6. Un réseau partenarial structuré ;
7. Une stratégie internationale.

Comme le rappelle le Ministère [Ministère Éducation Nationale, 2020] « l'éducation au développement durable ne constitue pas une nouvelle discipline mais un champ par lequel toutes les disciplines sont concernées », « l'ensemble des programmes d'enseignement doit évoquer plus fortement les relations complexes entre l'homme et son environnement, constituées de nombreuses composantes en interactions constantes. Les processus géophysiques et biologiques planétaires sont donc intégrés à une vision plus large, qui relie les domaines sociaux, économiques, géopolitiques et qui aménage une progression des savoirs tout au long des cycles de la scolarité. L'esprit scientifique est associé aux sciences de l'homme sur le rapport des sociétés à leur environnement. En outre, la problématique des risques et de tous types d'aléas suppose la capacité de calculer et de disposer des savoirs et compétences pour des choix lucides, qu'ils soient individuels ou collectifs ».

Une prise en compte du développement durable sous le spectre de ses 3 piliers économiques, sociaux et environnementaux est ainsi fortement conseillée. Les préconisations ministérielles

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

mettent également en avant la nécessité de prendre en compte des compétences et des savoirs en lien avec le socle commun de compétences, de connaissances et de culture.

2.2.2 Le développement durable dans l'écosystème du secondaire

Tout comme dans les programmes de l'école primaire, l'intégration de l'EDD dans les programmes de l'enseignement secondaire (depuis 2004 jusqu'à aujourd'hui) se fait dans les disciplines existantes et traite des quatre mêmes thématiques abordées à l'école primaire (la biodiversité, l'évolution des territoires, la gestion des milieux et des écosystèmes), auxquelles vient s'ajouter la thématique de la production durable.

Dans l'enseignement secondaire, de nombreuses disciplines abordent le concept de développement durable avec leur propre vision (i.e. une vision non intégrée). Il est donc proposé aux élèves une approche pluridisciplinaire du développement durable où chaque discipline traite d'une problématique autour du DD avec un ancrage fort du point de vue de sa discipline et ne prend pas en compte l'aspect systémique des problèmes soulevés. De façon générale, les sciences traiteront essentiellement des aspects environnementaux, alors que des disciplines telles que l'histoire, la géographie, les sciences économiques traiteront davantage du volet social et économique. On constate alors une discrétisation (découpage en sous-thème) du développement durable qui permet à chacun de traiter d'un thème sous le prisme disciplinaire. Ainsi la problématique de l'eau sera traitée sous les aspects environnementaux par les enseignants de SVT, tandis que les enseignants d'histoire-géographie questionneront les aspects politiques ou économiques.

Cette approche est la conséquence de la formation initiale des enseignants du secondaire qui est essentiellement fondée sur la maîtrise de la discipline. C'est donc une vision souvent disciplinaire, avec des tendances relevant parfois de :

- La neutralité exclusive avec une transmission de connaissances disciplinaires stricto sensu
- La posture de partialité exclusive qui privilégie également la transmission de messages disciplinaires consensuels, tout en soulignant la nécessité d'un engagement citoyen
- La posture d'éducation critique qui privilégie l'acquisition par les élèves de connaissances et compétences leur permettant de développer leur esprit critique sur les relations entre sciences et sociétés [Clément & Caravita, 2011]

Cette vision de l'EDD est par ailleurs souvent orientée sur : le rôle de l'homme dans les modifications de l'environnement, les interdépendances des hommes dans la société, la nécessité de faire des choix responsables et le besoin d'une solidarité à l'échelle mondiale. Les connaissances que les élèves ont déjà pu (ou non) acquérir à l'école primaire ne sont quasiment jamais mobilisées et réinvesties. On constate une fois de plus qu'il n'existe pas vraiment un continuum de l'EDD entre l'école primaire et le collège qui pourtant ont en commun le cycle 3 (CM1-CM2-6^{ème}). De plus, la complexité des interdépendances et l'action de faire un choix, de prendre une décision « au mieux » en sachant qu'il n'y a pas de « solution miracle » font souvent apparaître chez les élèves un sentiment contre-productif de culpabilité et d'impuissance.

Malgré tout, la volonté d'intégrer le concept de développement durable et la refonte des référentiels d'enseignements du lycée ont été particulièrement importantes depuis 2011 et le développement durable est toujours bien présent dans les programmes. L'article 9 de la

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

loi pour l'école de la confiance de 2019 [Légifrance, 2019b] insiste sur le fait que « l'éducation à l'environnement [...] a pour objectif de sensibiliser les enfants aux enjeux environnementaux et à la transition écologique [...] permet la transmission et l'acquisition des connaissances et des savoirs relatifs à la nature, à la nécessité de préserver la biodiversité, à la compréhension et à l'évaluation de l'impact des activités humaines sur les ressources naturelles et à la lutte contre le réchauffement climatique ». Le Ministère ne parle plus de développement durable mais des « enjeux environnementaux et transition écologique ». Les propositions d'organisation des enseignements du Ministère de l'Éducation Nationale mettent néanmoins bien en avant l'approche « disciplinaire » du développement durable qui reste la norme avec, pour chaque année du lycée, les thématiques développement durable qui peuvent être abordées par les disciplines [Ministère Éducation Nationale, 2021] :

- En seconde :
 - Le programme de SVT permet aux élèves d'approfondir l'impact des activités humaines sur le milieu. En introduction du programme, il est clairement souligné que les « élèves appréhendent les grands enjeux auxquels l'humanité sera confrontée au XXI^e siècle, ceux de l'environnement, du développement durable, de la gestion des ressources et des risques ».
 - Le programme d'histoire- géographie consacre un thème entier à la question environnementale : « Sociétés et environnements – des équilibres fragiles ». Il invite les professeurs à étudier avec leurs élèves « le changement climatique et ses effets sur un espace densément peuplé ».
 - En sciences économiques et sociales, dans le chapitre « Comment crée-t-on des richesses et comment les mesure-t-on ? », les élèves devront savoir que le PIB est un indicateur global qui ne prend pas compte des inégalités de revenus et connaître les principales limites écologiques de la croissance.
- En première :
 - En voie générale, l'enseignement scientifique, commun à tous les élèves, met en évidence le rôle de l'être humain dans la modification du climat.
 - L'enseignement moral et civique aborde les responsabilités individuelles et collectives pour les questions environnementales, ou la défense de l'environnement comme cause fédératrice.
 - L'introduction du programme d'histoire-géographie, en voie professionnelle, souligne qu'il s'agit d'un enseignement émancipateur et porteur de citoyenneté qui éclaire les grands défis du XXI^e siècle en particulier les défis liés à l'environnement et aux objectifs de développement durable.
 - En sciences économiques et sociales, dans le chapitre « Quelles sont les principales défaillances du marché ? », les élèves devront comprendre que le marché est défaillant en présence d'externalités et être capables de l'illustrer par un exemple (celui de la pollution notamment). Ils devront aussi comprendre que le marché est défaillant en présence de biens communs et de biens collectifs.
- En terminale :
 - L'enseignement scientifique dispensé à tous les élèves est entièrement consacré aux enjeux climatiques et s'articule autour de 3 thèmes :

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

1. Science, climat et société
 2. Le futur des énergies
 3. Une histoire du vivant
- L'enseignement de spécialité en histoire-géographie, géopolitique et sciences politiques prévoit un thème consacré à : « l'environnement, entre exploitation et protection – un enjeu planétaire ».
 - En sciences économiques et sociales, un chapitre entier (Quelle action publiques pour l'environnement ?) est dédié à la thématique du développement durable et les thèmes d'autres chapitres sont liés aux objectifs de l'agenda 2030, à savoir : « Quels sont les sources et les défis de la croissance économique ? » et « Quelles inégalités sont compatibles avec les différentes conceptions de la justice sociale ? »
 - En langues vivantes, l'enseignement commun et de spécialité du 1^{ière} et de Terminale comprend un axe d'étude intitulé « Innovations scientifiques et responsabilité » qui interroge l'action de l'homme sur son environnement.

Or, ces thèmes nécessitent une approche interdisciplinaire pour être correctement étudiés, il y a donc de grandes chances que les difficultés à opérationnaliser ces enseignements de par les contraintes de la structure même de l'institution qui cloisonne les enseignements perdurent. Toutefois nous pouvons noter quelques initiatives de la part des institutions pour tenter de remédier à ce problème. C'est notamment un des axes de travail au sein des formations technologiques.

2.2.3 Le développement durable et l'enseignement technologique du secondaire

Si nous faisons un focus sur les disciplines technologiques au collège et au lycée, la dernière décennie a vu des restructurations et des réformes générales des curricula de formation en sciences et de technologie dans plus de la moitié des pays européens [Eurydice, 2011]. Ces réformes encouragent :

- Des méthodes d'apprentissage basées sur le développement des compétences (démarche d'investigation, de résolution de problèmes, démarche de projet),
- Un enseignement intégré des sciences et de la technologie,
- L'utilisation des problématiques liées de plus en plus à des questions sociétales.

En 2008, les premières notions sur le développement durable sont apparues dans le programme de technologie du collège avec la notion d'impact environnemental. Elle était considérée comme une succession d'éléments de connaissances à apprendre sans lien entre procédés de fabrication, propriétés de matériaux, énergie, utilisation ou élimination d'un produit. Cette posture induisait de nombreux biais comme par exemple :

- Etudier les matériaux (propriétés physiques et mécaniques seulement) dans l'unique but de mettre en forme un objet car le programme de technologie ne renvoyait qu'à l'enseignement de la « *mise en forme des matériaux* »,
- La sensibilisation au recyclage vu comme un « *complément culturel* » où l'emballage était considéré seulement selon ses fonctions de packaging pour la commercialisation d'un objet.

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

Aujourd'hui, de nouveaux cadres pour les formations d'écoconception tentent de limiter ces biais et de briser les barrières disciplinaires entre les sciences et la technologie afin d'encourager les élèves à explorer les relations entre les disciplines tout en mettant en évidence les concepts de développement durable qui leurs sont liées. Sur le plan international les programmes STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) ont contribué depuis les années 90 à cette nouvelle intégration de l'enseignement des disciplines scientifiques et techniques. Les STEM contribuent à décloisonner les disciplines pour favoriser la résolution de problèmes complexes mettant en exergue la nécessaire prise en compte de tous les paramètres interférant sur un système. En France un programme similaire, l'EIST (Enseignement Intégré des Sciences et de la Technologie) est conduit au collège pour les élèves de 6^{ème} et 5^{ème} (élèves de 12-13 ans) depuis 2011 [Ministère Éducation Nationale, 2011]

Depuis septembre 2016, un nouveau référentiel de connaissances et de compétences s'applique à tous les élèves de 6^{ème} avec pour objectif de favoriser l'EIST et de permettre de repenser les curricula de formation et en particulier dans l'enseignement de la technologie par la création d'un nouveau cycle scolaire faisant le lien entre l'école primaire et le collège (nouveau cycle 3). Ce continuum devait également être construit entre le collège et le lycée avec ce nouveau référentiel mais l'évolution des filières du baccalauréat a un peu rebattu les cartes.

Pour ce qui est des filières technologiques, les options technologiques « *création et innovation technologique* » et « *sciences de l'ingénieur* » sont proposées en classe de seconde. Ces options sont centrées sur la gestion de projet technologique mettant en avant les innovations répondant aux problématiques sociétales en respectant les nouvelles contraintes ou normes de durabilité. Or depuis la réforme du lycée en 2019, ces enseignements optionnels sont en forte perte de vitesse de par leur concurrence directe avec l'enseignement obligatoire pour toutes les classes de seconde des Sciences Numériques et Technologie. Cet enseignement a pour objet de permettre d'appréhender les principaux concepts des sciences numériques, mais également de permettre aux élèves, à partir d'un objet technologique, de comprendre le poids croissant du numérique et les enjeux qui en découlent. Les aspects liés à la transition numérique pourraient y être traités mais pour l'heure cet axe est peu ou pas abordé.

Après la classe de seconde les élèves ont la possibilité d'intégrer une filière générale ou une filière technologique avec une formation dédiée en sciences et technologie de l'industrie et du développement durable (STI2D).

- La filière générale : spécialité Sciences de l'Ingénieur (SI)

Dans le cadre du lycée général et l'organisation des parcours avec des « disciplines de spécialités » les Sciences de l'Ingénieur font parties de la liste des disciplines au choix et il est plus complexe pour les élèves de développer un parcours structuré en sciences et technologie comme cela pouvait être le cas auparavant. En effet, les élèves pouvant panacher 3 disciplines en 1^{ière} et ne devant en conserver que 2 en Terminale, nous pouvons avoir de multiples combinaisons de parcours intégrant totalement (1^{ière} + Terminale), partiellement (seulement en 1^{ière}) ou pas du tout les Sciences de l'Ingénieur (organisation déployée à la rentrée 2019)

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

dans le cadre de la réforme du Baccalauréat 2020). Le programme des sciences de l'ingénieur est par ailleurs peu ancré dans la notion de durabilité.

- La filière STI2D

Cette filière a évolué afin de favoriser l'acquisition de compétences transversales technologiques dans tous les domaines industriels et d'apporter une vaste expertise dans un domaine spécifique. Dans cette formation, l'apprentissage est ciblé sur l'acquisition d'une culture technique avec une approche globale de systèmes technologiques multiples et complexes. L'écoconception est présentée comme un concept qui intègre les multiples aspects de la conception de produits et de systèmes complexes et des considérations environnementales. L'objectif est de créer des solutions durables qui répondent aux besoins et désirs humains. Le postulat est que les élèves doivent non seulement savoir comment recycler ou séparer les déchets mais aussi apprendre à comprendre comment ils peuvent produire moins de déchets et ainsi réduire la consommation d'énergie en créant une technologie plus propre.

Ainsi la filière STI2D se voit constituer en première d'un enseignement spécifique de 9h par semaine intitulé « Ingénierie et développement durable ». Puis en terminale les élèves sont en phase de spécialisation dans un domaine particulier : Architecture et Construction (AC), Energies et Environnement (EE), Innovation Technologique et ECoconception (ITEC), Systèmes d'Information et Numérique (SIN). Cette spécialité s'intègre dans le module « Ingénierie, Innovation et développement durable » de 12 heures par semaine. Cette nouvelle intégration de l'enseignement des disciplines scientifiques et techniques devrait favoriser la prise en compte pluri-technologique des systèmes dans toutes ses dimensions (techniques, sociales, économiques ou environnementales). L'étude des produits et l'écoconception ne devraient plus simplement traiter des aspects techniques et environnementaux mais élargir la réflexion des élèves sur les paramètres économiques et sociaux impactant sur leur choix de conception. L'objectif étant de les mener petit à petit vers une prise en compte plus large des problématiques liées à leur choix technologique. Cependant, le nouveau référentiel stipule que le niveau taxonomique attendu à la fin de Terminale est « 2 » dans la taxonomie de Bloom. Cela signifie que les élèves n'en sont qu'aux prémices de la maîtrise de cette connaissance. Ainsi, les élèves qui sortiront de Terminale et qui auront suivi un parcours STI2D complet n'auront qu'un niveau que nous pourrions qualifier de « novice » sur les enjeux de développement durable. Au-delà du niveau des élèves, c'est aussi la proportion des élèves ayant suivi un cursus avec une forte coloration « développement durable » qui est à questionner. Nous n'avons pas encore les chiffres des étudiants ayant suivis des parcours STI2D dans le cadre de la nouvelle réforme mais en 2017 la proportion d'élèves relevant de cette formation était assez faible puisque selon un rapport de l'éducation nationale [MESRI,2018] la filière STI2D ne représentait que 6,8% des élèves de Terminale.

En conclusion, à la sortie du lycée les futurs étudiants ont donc théoriquement (puisque les thèmes effectivement abordés sont laissés à l'appréciation des enseignants) reçu un certain nombre de cours traitant des enjeux du développement durable présents dans les programmes de différentes disciplines (biodiversité, changement climatique, énergies renouvelables, écoconception, etc.). Les enjeux transversaux du développement durable, qui s'inscrivent dans une logique pédagogique transversale et pluridisciplinaire, ne sont que peu abordés car le découpage des enseignements en programmes par discipline ne favorise pas

cette logique. Finalement, ce sont 80 à 85% des élèves à la fin du lycée qui sont peu ou pas sensibilisés aux enjeux transversaux du développement durable car ils n'ont simplement pas suivi des filières de formation dispensant ces cours (ces cours apparaissant uniquement dans certaines filières de baccalauréats techniques ou professionnels suivies selon les statistiques de l'Éducation Nationale⁶ par 15% des élèves et une faible partie de ces élèves poursuivent leurs études dans l'enseignement supérieur). Ainsi, à leur entrée dans le supérieur, il n'est pas simple de tracer le parcours des élèves sur la thématique du développement durable et comme ils sont à nouveau « brassés » dans les différentes filières du supérieur (Figure 2)^{7,8} il n'est pas évident pour les enseignants des parcours d'IUT, de STS, de CPGE et de Licence à l'université d'appréhender les connaissances et les compétences des élèves sur ce thème.

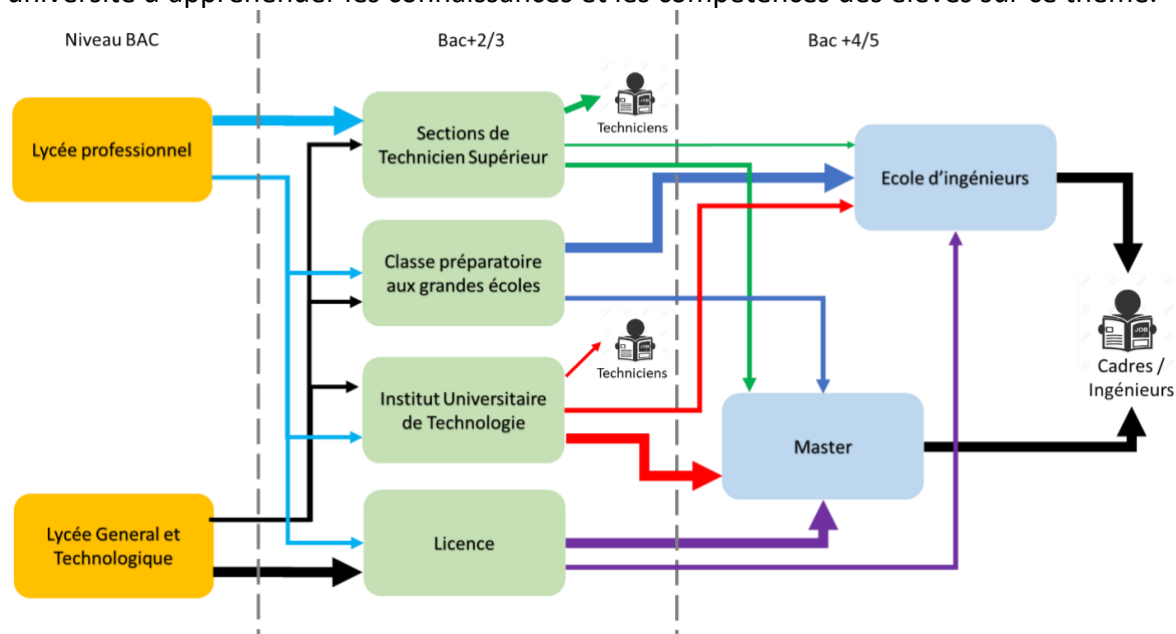


Figure 2. Voies d'orientation possibles dans le supérieur pour les élèves de Terminale

2.3 Le développement durable dans les formations supérieures

Dans l'enseignement supérieur le développement durable a commencé à interroger les universités avec la déclaration de Talloires en 1990 signée par 350 universités [ULSF, 1990]. Cette déclaration constitue le premier signe officiel d'engagement des universités pour la promotion de l'éducation pour le développement durable. Elle a pour but de « *développer dans les institutions une mentalité axée sur le développement durable, et de privilégier une éducation aboutissant à une citoyenneté écologiquement responsable* »⁹. A partir de cette date le développement durable s'est peu à peu fait une place dans les parcours de formations du supérieur. Néanmoins, même si les politiques éducatives internationales encouragent l'intégration du développement durable à tous les niveaux de formations de nombreux freins persistent [Avila et al., 2017] notamment le fait que « *ce n'est pas le cursus éducatif qui évolue pour intégrer les objectifs du développement durable mais plutôt la définition du*

⁶ http://cache.media.education.gouv.fr/file/2015/66/8/depp_rers_2015_eleves_second_degre_454668.pdf

⁷ L'épaisseur des flèches sur la figure correspond à la taille des cohortes. Plus la flèche est épaisse plus le nombre d'étudiants passant d'un cursus à l'autre est important et, réciproquement, plus la flèche est fine plus le nombre d'étudiants est faible.

⁸ Nous ne mentionnons pas sur la figure les formations en écoles de commerce qui sont hors de notre champ d'étude et les formations de doctorat (Bac+8) car elles ne concernent qu'un très faible nombre d'étudiants et complexifieraient encore un peu plus notre étude pour une valeur ajoutée relativement faible.

⁹ <http://ulsf.org/talloires-declaration/>

développement durable qui évolue pour trouver sa place dans chacun des cursus éducatifs » [Lourdel, 2005]. Un autre frein réside dans le fait que travailler sur la question du développement durable oblige à faire les connexions entre différentes disciplines et différentes thématiques pour avoir une vision systémique des problématiques ce qui n'est pas toujours fait dans une organisation du supérieur encore très centrée sur les disciplines. C'est ce verrou que le manuel de la grande transition [Renouard *et al.*, 2020] veut en partie lever avec la dimension « Oikos » qui met en avant la nécessité de prendre connaissance du fonctionnement du monde actuel. Cette entrée dans la compréhension de la transition permet d'établir un diagnostic et de *« comprendre comment les hommes habitent ou devraient habiter spatialement et politiquement leur maison commune, notre oikos, en respectant les limites écologiques planétaires de la Terre »*.

Dans les formations technologiques universitaires, les programmes de formation sont eux souvent construits sur la base des besoins exprimés par le terrain (i.e. le monde socio-économique) et des normes ou textes de loi, des méthodes et/ou des approches en vigueur dans les entreprises. De nombreuses universités utilisent ainsi le système de management environnemental et d'audit (EMAS¹⁰) mis au point par la Commission européenne avec comme point de questionnement avec les étudiants : *« quelle est la signification du développement durable pour une entreprise ? »*. EMAS est un outil de gestion pour les entreprises et les organisations afin d'évaluer, de rendre compte et d'améliorer leur performance environnementale. Un tel outil est souvent complété par des normes telles que l'ISO 14031 (gestion environnementale, évaluation de la performance environnementale, lignes directrices), l'ISO 14001 (systèmes de management environnemental, Exigences et lignes directrices pour l'utilisation), l'ISO 26000 (Lignes directrices sur la responsabilité sociale), l'ISO 14040 (management environnemental, Vie évaluation du cycle, Principes et cadre) ou l'ISO 14020 (Normes et déclarations environnementales, Principes généraux). Cependant, la simple prise en compte des éléments normatifs n'est désormais plus suffisante. Pour aller au-delà de ces questions normatives, la thématique du développement durable est aussi souvent traitée par le biais de l'écoconception qui est présentée comme *« une approche préventive qui intègre le facteur environnemental à la conception des produits et services »* qui *« vise à réduire les impacts environnementaux des produits et services tout au long de leur cycle de vie, tout en préservant ou améliorant les qualités d'usage de ceux-ci »* [ISO 14062, 2003]. Or, le concept de l'écoconception a fortement évolué au cours des dernières années [Pigozzo *et al.*, 2015]. Le périmètre d'action pour les futurs ingénieurs et techniciens est plus vaste [Ceschin & Gaziulusoy, 2016] et ils doivent désormais dépasser le périmètre produit pour s'emparer des aspects liés au service, aux aspects sociotechniques et à l'économie circulaire [Bhamra & Hernandez, 2021]. [McAloone & Pigozzo, 2017] ont identifié différentes phases dans l'évolution de la prise en compte du développement durable, et en particulier de l'écoconception, dans les entreprises. La première phase, qui va de 1990 à 2010, a été une période où l'écoconception a commencé à être prise en considération dans les entreprises¹¹. C'est alors, une approche préventive permettant d'améliorer les processus de fabrication, de minimiser les coûts, de se conformer à la législation tout en augmentant l'efficacité des ressources. A partir de 2010, un besoin de faire évoluer les concepts d'écoconception pour

¹⁰ Eco-Management and Audit Scheme: https://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm

¹¹ *« In the late 1990s, the recognition that products were at the origin of most of the pollution and resource depletion caused by our society became evident and a transition to a more proactive approach could be observed »* [Pigozzo *et al.*, 2017].

permettre une mise en œuvre et une adoption plus large par l'industrie s'est fait ressentir avec une vision systémique. Les entreprises sont donc progressivement passées de l'écoconception vers le concept plus large de l'ingénierie durable qui, contrairement à l'écoconception, inclut les paramètres environnementaux mais également les aspects sociaux [Bhamra & Hernandez, 2021]. L'objectif est de faire évoluer l'approche existante dans lequel il y a une phase de « conception » puis une phase « d'écoconception » pour évaluer la pertinence des choix de conception, par un processus de conception holistique, intégré et intrinsèquement durable (Figure 3) [Sheldrick & Rahimifard, 2013], [Schäfer & Löwer, 2021]¹².

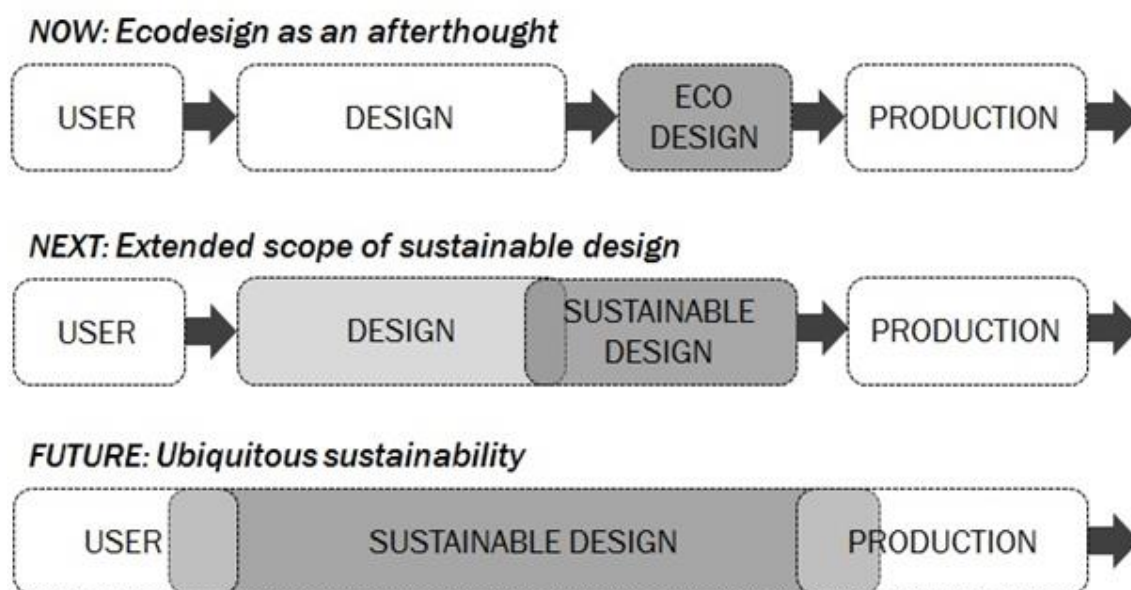


Figure 3. De l'écoconception vers l'ingénierie durable [Sheldrick & Rahimifard, 2013]

L'ingénierie durable se définit donc selon l'Ecole Polytechnique Montréal comme : « une pratique de l'ingénierie qui, dans toutes ses actions, assume une responsabilité élargie sur les plans environnemental, social et économique » [MOOC - 2020].

Pour que les ingénieurs et cadres puissent développer une telle pratique, il est nécessaire que les programmes de formation proposent une approche intégrée leur permettant d'aller au-delà de leurs seules compétences disciplinaires. En 2020, le WEF (World Economic Forum) [WET, 2020] proposait 4 compétences et 4 modalités d'apprentissage à développer pour augmenter la performance de l'éducation du futur, « l'éducation 4.0 » et que les formés puissent avoir des pratiques plus responsables :

1. Les compétences : compétences pour être un citoyen du monde, compétences en termes d'innovation et de créativité, les compétences technologiques, et les compétences personnelles,
2. Les modalités d'apprentissage : l'apprentissage personnalisé, au rythme de chacun, l'apprentissage accessible et inclusif, l'apprentissage collaboratif, et l'apprentissage « dirigé » par les étudiants.

¹² « More recently, this perspective has been enriched by systemic and long-term thinking, accompanied by researchers and practitioners framing sustainability as a socio-technical challenge instead of a problem with purely technical solutions ». [Reinsdorf & Triplett, 2021].

Certaines universités ont des stratégies spécifiques pour développer de telles compétences ou de telles modalités d'apprentissage et pour les inclure dans leurs programmes. Elles sont encouragées à le faire par les exigences des organismes d'accréditation et les besoins des entreprises [Sokol *et al.*, 2015], [Tezcan-Unal *et al.*, 2018]. Bien que ces projets aient permis de développer des compétences transversales propres à l'ingénierie durable, la plupart des universités ne se limitent qu'à la mise en œuvre des référentiels nationaux (parfois supranationaux) et ne laissent qu'une place toute relative aux compétences transversales et autres modalités d'apprentissage différentes que ce que les équipes pédagogiques ont l'habitude de faire [Berglund & Heintz, 2014]. Pour étudier si de telles compétences étaient travaillées par les étudiants dans leur parcours de formation dans l'enseignement supérieur en France, nous avons analysé les référentiels nationaux existants de Bac+2 à Bac+5.

2.3.1 Parcours Bac+2 : STS, IUT et classes préparatoires

La Figure 2 illustre que les néo bacheliers se destinant à devenir techniciens, cadres ou ingénieurs dans les domaines scientifiques et technologiques peuvent y parvenir en s'inscrivant soit dans des filières au lycée – classes préparatoires aux grandes écoles ou STS¹³, soit dans des filières universitaires – Licences et BUT dans les IUT, soit dans des classes préparatoires intégrées au sein des écoles d'ingénieurs.

Les classes préparatoires (CPGE) accueillent 34,6 % des futurs étudiants en école d'ingénieur selon les statistiques du ministère de l'enseignement supérieur en 2017 [MESRI, 2017]. Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur relatifs aux CPGE indique comme finalité de prendre en compte « *la complexité des systèmes et leur développement dans un contexte économique et écologique* ». Cependant en analysant de plus près ce programme paru en 2013 [MESRI, 2013a], on remarque que les objectifs relatifs à la notion environnementale sont faibles, ainsi il est seulement spécifié dans le programme qu'il faut : « *sensibiliser les élèves au développement durable* ».

Concernant les STS (Section de Technicien Supérieur), peu de programme de BTS abordent la question du développement durable et de l'ingénierie durable. Le nouveau référentiel du BTS CPI (Conception de Produits Industriels) [MESRI, 2016], déployé en 2018, a retenu néanmoins notre attention car nous avons dénombré 12 occurrences du terme « développement durable » et 24 pour « écoconception » et « cycle de vie ». De plus, parmi les 14 compétences métiers attendus pour délivrer le BTS CPI, l'une d'elle (compétence C12 – Figure 4) fait explicitement référence à l'écoconception : « *intégrer l'écoconception dans la conception d'un produit* ». Il est aussi attendu des étudiants en BTS CPI qu'ils soient capables de « *prendre en compte et optimiser la conception au regard des exigences du cycle de vie du produit* ». Ceci démontre une évolution dans la façon de considérer le processus de conception puisqu'il est maintenant fait mention de la nécessité de prendre en compte le paramètre environnemental.

¹³ Brevet de Technicien Supérieur

C12 : Intégrer l'éco-conception dans la conception d'un produit.			
Données	Compétences détaillées	Indicateurs de performance	Savoirs associés
<p>La réglementation en vigueur et la normalisation.</p> <p>Les éléments technico économiques, environnementaux, maintenabilité, etc. retenus par le client.</p> <p>Le coût objectif, les contraintes de qualité et de délais.</p> <p>Outils d'aide au choix.</p>	<p>Pas de compétence détaillée</p>	<p>Les contraintes environnementales, utilisées pour la caractérisation des fonctions de service, existent.</p> <p>La comparaison des solutions retenues, selon une analyse multicritères explicite, existe et est rationnelle. Elle permet d'optimiser les trois piliers du développement durable.</p> <p>Un choix de composant standard et/ou sous traité optimisant les impacts environnementaux du cycle de vie du produit existe.</p> <p>La définition des pièces et du système en formes et dimensions optimisant les impacts environnementaux du cycle de vie du produit est pertinente.</p>	<p>S1</p> <p>S4</p>

Figure 4. Compétence C12 – extrait du référentiel BTS CPI

Cependant, même si le besoin d'intégrer l'écoconception dans le programme est établi, les rédacteurs de ce référentiel n'ont pas réussi à clairement décomposer cette compétence générale en compétences détaillées qui aurait pu aider les enseignants à mieux cerner le périmètre et les enjeux de cette compétence C12. Il est à noter que c'est la seule compétence qui ne soit pas plus clairement explicitée, les 13 autres compétences l'étant. Les enseignants pourront malgré tout s'appuyer sur le document d'accompagnement décrivant les savoirs associés à la compétence (S1 et S4) puisque « *la connaissance des normes, des principes du développement durable et des outils d'aide à la décision environnementale* » est clairement mentionnée.

Pour ce qui concerne les programmes des Instituts Universitaires Technologiques (IUT) leurs formations sont passées de 2 ans à 3 ans, et le DUT (2 ans) est devenu le BUT (Bachelor – en 3 ans) à la rentrée 2021. Au-delà du passage d'une formation en 2 ans en une formation en 3 ans, l'une des grandes évolutions dans le dispositif de formation concerne la conception des offres de formation puisque les IUT ont eu pour obligation de travailler selon l'approche par compétence. Nous ne présentons pas cette approche ici mais un paragraphe complet lui est dédié dans le chapitre suivant. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la filière Génie Mécanique et Productique (GMP), qui comme pour le BTS CPI, était celle pour laquelle les termes « développement durable » et « écoconception » était le plus souvent cités dans le programme pédagogique. Dans l'ancien programme pédagogique national – celui du DUT GMP [MESRI, 2013b], il y a 18 occurrences du terme « écoconception », 21 pour « développement durable » et 23 pour « cycle de vie ». De plus, il est clairement mentionné que : « *les aspects du développement durable et de l'écoconception seront obligatoirement intégrés dans les enseignements par le biais de l'analyse du cycle de vie du produit* ». En analysant de plus près ce référentiel la compétence liée à l'écoconception est considérée comme une compétence de base du futur détenteur du diplôme et qu'il peut être amené à l'exploiter lors des activités : de conception, d'industrialisation, de pilotage d'une unité élémentaire de production. Elle était par ailleurs présente lors des 4 semestres de la formation. Dans le nouveau référentiel, le terme « éco-conception » est mentionné deux fois et seulement pour décrire des emplois possibles pour les diplômés. Le terme « durable » revient 11 fois mais essentiellement pour mentionner le nom d'un parcours du BUT (parcours « conception et production durables »). Pour ce qui est du terme « cycle de vie », nous

Chapitre 1. Quelle place pour le développement durable dans le système éducatif en France ?

dénombrons 76 occurrences dans le référentiel. Ceci s'explique car une compétence contient le terme (« Gérer le cycle de vie du produit et du système de production ») et que celle-ci est répétée de nombreuses fois tout au long du document. Il est intéressant que le cycle de vie du produit et du système soit mentionné de façon aussi claire car cela oblige théoriquement à adopter une vision systémique dans l'étude des produits et des systèmes. Il n'est malgré tout jamais fait mention du terme « systémique » dans le référentiel du BUT GMP...

2.3.2 Les Licences

Le dernier flux d'étudiants intégrant les écoles d'ingénieurs ou un cycle de master provient des filières de Licences dans l'université. L'étude et l'analyse des cursus de Licences sont plus complexes car les Universités ne sont pas soumises à un référentiel ou à un programme pédagogique national, et « *pour l'intégration du développement durable dans les enseignements, chaque établissement peut procéder à sa façon, compte tenu de sa capacité d'auto-prescription de ses curricula de formation* » [Prévost & Jauffray, 2013]. Ainsi, même si le ministère de l'enseignement supérieur a publié un référentiel de compétence pour la licence en 2015, faisant apparaître la nécessité d'acquérir des compétences disciplinaires, préprofessionnelles et des compétences transversales [MESRI, 2015], les offres de formation en Licence varient d'une Université à l'autre et ne tiennent finalement peu compte de ce référentiel. Les cursus n'étant ainsi pas harmonisés au niveau national, il est donc très difficile de savoir précisément si le « développement durable », « l'ingénierie durable » ou encore « l'écoconception » sont traités dans les cursus de licence et si oui comment.

2.3.3 Synthèse de l'étude pour les formations du supérieur

L'étude des référentiels des formations qui sont des viviers d'étudiants pour les cycles de Master et les écoles d'ingénieurs montre que les connaissances et les compétences en lien avec le développement durable et l'ingénierie durable sont difficilement traçables. Il est donc quasiment impossible pour les établissements d'envisager un profil type d'étudiant (en termes de connaissances et compétences acquises en sortie de cursus à Bac+2 ou Bac+3) sur lequel il serait possible de s'appuyer pour construire les programmes des formations à Bac+5. L'option souvent retenue, comme l'a montré Flore Vallet dans ses travaux [Vallet, 2012], est de partir des normes qui donnent un premier cadre dans lequel les étudiants peuvent construire leur propre vision du développement durable et de l'ingénierie durable (même si l'écoconception est souvent mise en avant et ne considère que deux des trois piliers du Développement Durable – l'environnement et l'économie). Au-delà de l'intégration des éléments normatifs, certains cursus de formation sont complétés par la prise en compte de dimensions invariantes de la durabilité dans la gestion du projet [Silvius & Schipper, 2014] et/ou les trois facettes de la méta-discipline science et ingénierie de Hokanson et Mihelcic [Hokanson & Mihelcic, 2006]. Ces dimensions permettent de fournir aux étudiants une vision synthétique et systémique du concept d'ingénierie durable pour être adaptables et performants quand ils arriveront dans différentes entreprises. L'objectif est de faire apparaître les interdépendances entre chaque objectifs/dimensions pour aider les étudiants à acquérir la pensée complexe, la réflexion prospective et comprendre l'intérêt d'adopter une vision systémique des problèmes. Les universités et les écoles d'ingénieurs complètent souvent cette vision un peu « théorique » de l'ingénierie durable par une vision plus « technique » en s'appuyant sur des cours se référant à des méthodes et outils d'écoconception par exemple utilisés dans les entreprises [Ramani *et al.*, 2010]. Les étudiants qui arrivent dans les formations de Master ou d'ingénieurs ne sont malgré tout pas « sans connaissances et sans compétences » sur le développement durable puisqu'ils ont des acquis notamment des

valeurs, une culture, un esprit parfois critique et une assez bonne connaissance de quelques enjeux du développement durable. Ces acquis doivent être considérés pour parvenir à proposer une formation cohérente et pertinente permettant de former de futurs ingénieurs performants dans le domaine de la transition environnementale.

3 Conclusion

Le système éducatif français propose bien dans ses programmes des sous-objectifs orientés développement durable mais qui sont souvent bâtis pour s'adapter et s'intégrer aux disciplines « historiques ». Ainsi, si nous considérons qu'il est essentiel que les diplômés en ingénierie soient formés de telle sorte qu'ils aient des connaissances, des attitudes et des compétences pour répondre efficacement aux défis futurs de la société [Hanning *et al.*, 2012], il est nécessaire de développer progressivement chez les apprenants la capacité d'aborder globalement toutes les dimensions du développement durable avant leur entrée dans le monde professionnel. Il faut pouvoir proposer une approche intégrée pour résoudre les problèmes et les ingénieurs doivent être prêts à relever des défis qui vont au-delà de leurs seules compétences disciplinaires propres. Ainsi tout en restant compétitif dans leur domaine de prédilection, une vision plus large de l'enseignement technologique incluant l'ingénierie durable doit permettre aux futurs ingénieurs de devenir des leaders dans la durabilité mondiale [Dekoninck *et al.*, 2016]. Bien que la majorité des enseignants, des formateurs et des employeurs mettent explicitement l'accent sur l'importance des compétences professionnelles et des savoir-être dans les activités de l'ingénieur, les enseignements permettant leur développement ont du mal trouver leur place dans les programmes de formation technologique et en ingénierie [WEF, 2020]. Sur la base de ces constatations la problématique de la conception, de la mise en œuvre et du suivi d'une offre de formation répondant aux enjeux majeurs de la formation en ingénierie durable nous conduit à soulever les questions suivantes :

Cette nouvelle organisation doit être développée autour d'au moins cinq enjeux majeurs de l'EDD [Perpignan *et al.*, 2020] :

1. Analyser les liens entre les connaissances et l'action en encourageant les activités pédagogiques basées sur l'action des apprenants. Favoriser le projet et étudier des situations et / ou des événements réels [Audigier *et al.*, 2011]. Au cours de ces activités, les disciplines qui permettent d'atteindre les objectifs fixés doivent être combinées. Le danger est d'être superficiel et de rester dans une logique de bon sens car les apprenants peuvent être trop focalisés sur l'action et moins sur la réflexion [Lebatteux *et al.*, 2011].
2. Identifier les valeurs et l'éthique qui sont fondamentales au développement durable : la solidarité, l'ouverture d'esprit, la justice, l'égalité et la responsabilité. Au cours de la prise de décision et dans l'action, ces valeurs génèrent souvent des conflits avec d'autres tels que le profit, le plaisir individuel ou la préservation des acquis personnels.
3. Développer la pensée complexe. Les publications relatives à la pensée complexe se concentrent souvent sur le développement d'une compétence systémique. Cette compétence consiste à décrire un système selon plusieurs dimensions ou un schéma

et d'utiliser cette représentation pour formuler des actions possibles [Assaraf *et al.*, 2005] [Remplifier *et al.*, 2012].

4. Développer la capacité de construire le problème sur lequel les apprenants doivent travailler. Les objectifs sont de fournir aux apprenants des méthodes, des approches et des outils pour analyser les situations qu'ils rencontrent et apprennent à se poser des questions critiques et réflexives dans le monde réel "problématique". La réflexion porte sur le choix du couple situation-problème, de la controverse, du débat et de l'insertion dans un paradigme [Sgard *et al.*, 2013].
5. Développer une pensée prospective c'est à dire avoir la capacité d'imaginer non pas un avenir mais différents futurs possibles. Le développement de la réflexion prospective oblige à tenir compte de la société du risque, de l'incertitude ou du concept de prospective [Callon *et al.*, 2001]. La réflexion prospective renvoie également à la notion du libre arbitre qui doit être mis en place durant le cursus scolaire des élèves comme une dimension nécessaire pour raisonner le développement durable et avoir la capacité d'agir.

Tous ces questionnements conduisent finalement à ce que la problématique de la finalité éducative soit clairement posée dans l'enseignement supérieur afin de pouvoir construire des référentiels de formation au développement durable adaptés [Segalàs *et al.*, 2009]. Cette problématique renvoie aux compétences à développer dans le cadre d'une formation en ingénierie durable ainsi qu'à l'adéquation des référentiels de compétences avec les métiers visés et la capacité des démarches de conception à faire en sorte que les programmes de formation permettent aux diplômés de jouer pleinement leur rôle dans les entreprises et dans la société.

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

1 Introduction

Dans l'Antiquité grecque, l'ingénieur avait pour mission de réaliser des engins de guerre, de construire des fortifications ou des navires [Verin, 1998]. Au Moyen-Âge, les ingénieurs ou *engignour* en vieux français participaient à la construction de nombreux édifices religieux et concevaient des « engins » pour mener les guerres au service de leur roi. A la Renaissance, il y eut une évolution dans la pratique de l'ingénierie portée par Vinci. Les ingénieurs allaient désormais « *utiliser la représentation graphique d'une manière telle qu'elle rende possible des modes de raisonnement bien plus puissants, des descriptions bien meilleures et une bien meilleure communication des idées dépassant les frontières du savoir tacite* » [Dias de Figueiredo, 2014]. L'ingénierie s'apprend alors que jusque-là elle était donnée comme inné (*ingénium* : pouvoir de l'esprit à inventer). Désormais, la compétence de « conception » permet de partir de principes abstraits pour obtenir de meilleures solutions techniques et l'esprit créatif est sollicité en respectant des fondements scientifiques. Aujourd'hui, l'enjeu est que l'ingénieur mette l'ensemble de ses savoirs et de ses compétences au service de la société pour bâtir un monde plus durable en apportant des réponses à des problématiques et des questions complexes comme par exemple : « comment faire en sorte que la société poursuive son développement de façon durable tout à s'adaptant au changement climatique qu'elle a elle-même généré ? ». Cet enjeu oblige à ce que les compétences des ingénieurs soient redéfinies et que les formations technologiques et en ingénierie le soient aussi. Après avoir présenté l'évolution des formations technologiques au cours du 20^{ème} siècle et notamment les évolutions en termes de démarches de conception des programmes de formation, nous nous attacherons à définir quelles sont les compétences clés pour assurer un développement durable à intégrer dans les curricula. Nous verrons ensuite comment ces compétences peuvent être positionnées dans les cursus de formation et nous proposerons une démarche pour l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur.

2 L'évolution des formations technologiques et en ingénierie : des compétences techniques aux compétences techniques ET transversales

2.1 Les principales évolutions de la formation supérieure en ingénierie au cours du 20^{ème} siècle

A la fin du 18^{ème} siècle, les grandes écoles d'ingénieur sont créées et mettent l'accent en priorité sur la maîtrise des savoirs scientifiques fondamentaux tels que les mathématiques ou les sciences physiques [Forest *et al.*, 2011]. En 1928, la charte du British Institution of Civil Engineers définit l'ingénierie comme « *l'art de diriger/ exploiter les grandes sources d'énergie présentes dans la nature pour l'usage et la commodité de l'homme*¹⁴. » La question de la responsabilité de l'homme et de ses impacts sur la nature n'est à ce moment pas encore

¹⁴ « *the art of directing great sources of power in nature for the use and convenience of man* »

soulevée. À sa création, en 1934, la Commission des titres d'ingénieurs (CTI) qui est « *un organisme indépendant, chargé par la loi française [...] d'évaluer toutes les formations d'ingénieur, de développer la qualité des formations, de promouvoir le titre et le métier d'ingénieur en France et à l'étranger*¹⁵ » considère l'ingénierie de façon assez proche de celle des anglo-saxons. En effet, l'ingénieur est décrit comme un « *intermédiaire intelligent entre les ressources de la nature et l'application que l'homme en fait pour être exploitées au profit de tous en général* » [CTI, 1934]. Les avancées technologiques sont profondes et rapides ce qui conduit à ce que les formations d'ingénieurs et de techniciens développent continuellement de nouveaux savoirs et de nouvelles pratiques techniques [Walker *et al.*, 1968]. Ainsi l'ingénieur par sa capacité à maîtriser la technologie, à suivre et participer à son évolution est perçu comme celui qui peut apporter une amélioration des conditions de vie du plus grand nombre. La technologie est la voie du progrès pour l'homme. Nous retrouvons ces notions de technologie et de progrès sociale en 1955 dans le rapport Grinter [Grinter, 1955] qui recensait deux objectifs principaux dans la formation des ingénieurs : des objectifs techniques et sociaux. Les futurs ingénieurs devaient donc d'une part, être capables de maîtriser leurs champs disciplinaires en constant changement en vue de développer la puissance économique d'un pays. D'autre part, d'un point de vue des objectifs sociaux à atteindre à cette époque, l'ingénieur devait s'efforcer de comprendre l'évolution de la société et de l'impact de la technologie sur elle. Le développement d'un sens des valeurs morales et éthiques cohérentes avec la carrière d'un ingénieur professionnel était mis en avant.

Dans les années 70, les écoles d'ingénieurs constatent que leurs étudiants accèdent très souvent à des postes à responsabilité et à des fonctions de management requérant des compétences à caractères socio-économiques pour lesquelles ils n'ont pas été formés. Le Conseil National du Patronat Français (CNPF) a donc imposé une formation au management dans les écoles d'ingénieurs [Derouet *et al.*, 2010]. Quelques modules de formations en économie, en management ou en psychologie et management des ressources humaines trouvèrent ainsi progressivement leur place dans les formations d'ingénieurs jusque-là très technologiques. C'est toujours dans les années 70, que des industriels, des chercheurs et des décideurs politiques commencèrent à s'inquiéter des impacts de la croissance économique et de ses conséquences sur les sociétés humaines et la nature. Le rapport Meadows par exemple [Meadows *et al.*, 1972] alerte dès 1972 sur le « *caractère insupportable de la croissance indéfinie de la population, de l'utilisation des ressources épuisables, et de l'augmentation de la pollution* ». The « *limits to growth* » (les limites à la croissance) amorçait ainsi une première réflexion sur nos modes de production et de consommation.

Dans les années 1980 et 1990, un tournant intervient dans le monde industriel et dans les formations d'ingénieur après une série de catastrophes industrielles (Tchernobyl, Amoco Cadiz, ...) : le monde, et en particulier l'industrie, ne pouvaient plus minimiser et ne pas considérer les impacts environnementaux et les conséquences des activités humaines sur la planète. C'est au cours de cette même période que le rapport Brundtland [Brundtland, 1987] paraît et propose une définition d'un développement « durable » : « *répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* ». A partir de ce moment, les prises de conscience s'accroissent. En 1992 se tient la conférence de Rio sous l'égide des Nations Unies. Elle regroupe de nombreux pays et permet de définir un

¹⁵ www.cti-commission.fr

premier plan d'action de lutte contre le changement climatique. Cette conférence sera suivie par la signature du protocole de Kyoto en 1997. Ainsi, depuis le début des années 1990, de nombreuses actions internationales ont été menées. Toutes ont pour objectif de réduire notre impact sur l'environnement avec plus ou moins de succès. Ces différents sommets, les rapports de l'ONU et du GIEC (entre autres) ont conduit à ce que les considérations environnementales prennent très progressivement leur place dans la formation des ingénieurs. L'objectif est que les ingénieurs, qui sont perçus comme celles et ceux qui de part par leurs capacités à apporter des solutions technologiques, puissent résoudre les problématiques environnementales ou tout du moins diminuer les impacts environnementaux négatifs des activités humaines en y apportant des réponses techniques. Cette évolution dans les formations a permis une forme de prise de conscience de la responsabilité des ingénieurs dans la mise en œuvre d'un développement durable : « *Au XXI^e siècle, les activités de l'ingénieur doivent désormais s'inscrire dans les orientations du développement durable et donc prendre en compte les préoccupations de protection de l'espèce humaine, de la vie et de l'environnement, et plus généralement du bien-être collectif* » [Roby, 2017].

L'intégration progressive du développement durable a aussi été encouragée par le fait que les entreprises se sont emparées de cette question. Leurs motivations étaient variées, certaines souhaitant répondre à un besoin formulé par leurs clients qui réclamaient des produits respectueux de l'environnements, d'autres ayant dû appliquer des réglementations, des lois nationales ou des directives européennes (Union européenne, 2005/32 / CE) et quelques-unes ayant une réelle volonté d'agir. Ainsi, au sein des entreprises, les directives telles que la directive relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques WEEE, la Directive européenne RoHS (2002/95/CE) (Restriction of hazardous substances in electrical and electronic equipments) ou les normes (ISO 14XXX) ont généré de nouveaux besoins en termes de compétences et de connaissances chez les techniciens et ingénieurs. Une réponse à court terme fut d'appliquer « simplement » les directives par une utilisation des outils présents sur le marché (outil d'ACV par exemple). A moyen et long terme, une réponse simplement « technique » n'est pas satisfaisante pour répondre aux différents critères multiples et systémiques fixés par les législateurs et aux évolutions de la société. Les réglementations et les aspirations de la société ne sont plus seulement focalisées sur les problèmes environnementaux mais se sont étendues aux questions économiques et sociales [Pigozzo et al., 2015] ; [Brones, 2017]. Les entreprises recherchent donc des managers, des ingénieurs et des techniciens confirmés ayant des compétences en durabilité [Jamison, 2012]. Ces évolutions des métiers et des besoins des entreprises ont eu un impact sur les contenus de formation. Dès 1994 l'ASEE dans son rapport « The Green report : Engineering Education for a changing world » [Dowell et al, 1994] relevait la nécessité de rendre les programmes de formations technologiques plus pertinents, connectés et attractifs en participant du fait que les ingénieurs possèdent des capacités d'analyse, d'intégration et de résolution de problèmes. Certaines compétences non présentes explicitement dans les programmes ou les attendus en fin de formation jusque-là vont faire leur apparition : travailler en équipe, savoir communiquer, développer une vision systémique et une approche multidisciplinaire et pluridisciplinaire, posséder une compréhension des impacts sociaux, économiques et environnementaux générés par les décisions des ingénieurs, l'éthique, etc. Ainsi lors de ces dernières décennies, les curricula principalement centrés sur l'apport de connaissances et de compétences techniques spécifiques se sont ouverts sur l'intégration de ces compétences

plus transversales et à des méthodes pédagogiques actives (Figure 5). L'ingénierie « classique » évolue donc vers une ingénierie dite durable (ou soutenable – « sustainable » en langue anglaise) pour répondre aux enjeux planétaires dans un contexte industriel (Tableau 1).

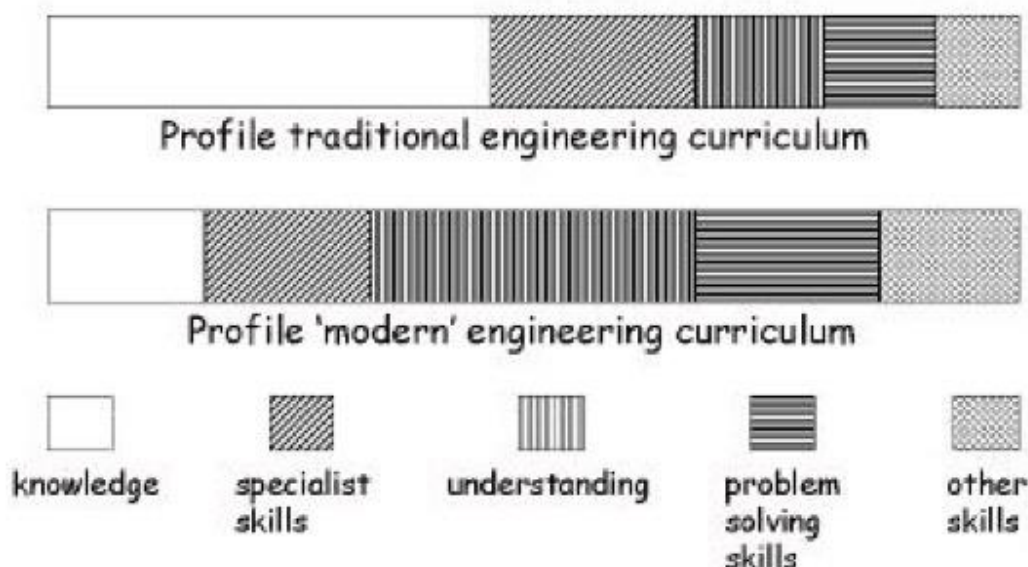


Figure 5. Le changement d'orientation dans le contenu des cursus d'ingénierie [Rompelman, 2000]

Tableau 1. Comparaison Ingénierie classique vs Ingénierie Durable¹⁶

Sustainability Approaches in Engineering	
Traditional Engineering	Sustainable Engineering
Considers the object or process	Considers the whole system in which the object or process will be used
Focuses on technical issues	Considers both technical and non-technical issues synergistically
Solves the immediate problem	Strives to solve the problem for infinite future (forever?)
Considers the local context	Considers the global context
Assumes others will deal with political, ethical, and societal issues	Acknowledges the need to interact the experts in other disciplines related to the problem

Aujourd'hui, nombre d'études et de recherches internationales mettent en évidence que la question du développement durable est relativement bien appréhendée par les étudiants et qu'il est nécessaire, pour les formations du supérieur, d'aller au-delà pour s'intéresser à la problématique du changement climatique, et en particulier de l'adaptation au changement climatique [Martin *et al.*, 2014], [Kolb *et al.*, 2017], [Hess & Collins, 2018], [Molthan-Hill *et al.*, 2019]. Les croyances sur le changement climatique et les méthodes d'éducation à la durabilité doivent être révisées et renouvelées ; par conséquent, le rôle des écoles et des enseignants est crucial dans ce processus [Hess & Maki, 2019]. Dans ce domaine, les principaux travaux de recherche se sont concentrés sur l'enseignement supérieur en tant qu'acteur

¹⁶ <https://www.e-education.psu.edu/eme807/node/688>

incontournable de la formation au changement climatique des futurs dirigeants et décideurs [Gao *et al.*, 2019], [Portuguez Castro & Gómez Zermeño, 2020] mais des recherches au niveau de l'enseignement primaire et secondaire ont aussi été menées dans différents pays comme la Corée du Sud [Sung, 2015], la Pologne [Szczepankiewicz *et al.*, 2021],], Singapour [Chang & Pascua, 2017a], [Ho & Seow, 2015], le Pakistan [Atta-ur- Rahman & Rajib, 2015] ou le Ghana [Boakye, 2015].

Si nous faisons une synthèse de ces travaux, il ressort que comme les impacts du changement climatique concernent un système très complexe et des interrelations difficiles à comprendre, les programmes de formation et les équipes pédagogiques doivent favoriser et promouvoir des approches interdisciplinaires [Shepardson *et al.*, 2012], de nouveaux cadres pédagogiques [McCright *et al.*, 2013] et des méthodes d'enseignement rénovées [Pfirman *et al.*, 2021] pour : engager les étudiants [Lundholm, 2019], construire des réseaux multi-acteurs, appliquer des innovations sociotechniques [Jorgenson *et al.*, 2019], faire connaître aux formés la place et le rôle des organisations internationales qui tentent de diriger les transitions [Goritz *et al.*, 2019]. Ainsi, au-delà des programmes de formation, ce sont aussi les modèles d'apprentissage mise en œuvre par les équipes enseignantes qui ont évolués. Le passage d'un modèle de « transmission de connaissances » à un modèle de « construction de compétences », bien que partiel (nous sommes souvent sur un modèle hybride avec une prédominance plus ou moins forte de modèle « transmissif ») s'est effectué en s'appuyant sur trois courants de la pédagogie des formations : 1. le behaviourisme, 2. le constructivisme, 3. le socio-constructivisme.

Le behaviourisme porté par Skinner en 1967 [Skinner, 1967] repose sur le principe du stimulus/réponse appris dans des situations antérieures et que l'étudiant doit ensuite être capable de reproduire. Quand il est soumis à une situation au cours de laquelle il doit analyser, agir et décider, le futur ingénieur ou technicien doit pouvoir identifier dans une situation qu'il a déjà vécu la posture et les réponses à apporter. Dans ce modèle, l'enseignant a un rôle central car il donne les clés à l'apprenant pour atteindre son objectif en utilisant la méthode de répétition essais/erreurs. Dans les années 1970, c'est à l'apprenant qu'a été donné une place plus centrale dans son apprentissage avec le modèle constructiviste qui s'appuie sur les travaux de Piaget (1896-1980). Le constructivisme considère que l'apprenant doit être capable d'organiser lui-même et individuellement ses connaissances et les enseignants sont invités à s'appuyer sur les pédagogies dites actives pour concevoir et mener leurs interventions [Genalo *et al.*, 2004]. C'est ainsi par exemple que la méthode d'apprentissage par problème commence à être utilisée dans les formations du supérieur [Harel & Papert, 1991]. Le modèle constructiviste a évolué vers une vision moins centrée sur l'individu mais plus sur la place et le rôle des interactions entre les formés dans le processus d'apprentissage. Le modèle d'enseignement s'appuie cette fois sur les travaux de Vigotsky (1896-1934) qui a développé le concept de socio-constructivisme. Le socio-constructivisme met en avant le fait que l'interaction sociale joue un rôle majeur dans les apprentissages et va permettre aux apprenants de développer leur zone proximale de développement. Ainsi l'apprenant au contact d'autres apprenants et de l'enseignant va pouvoir acquérir de nouvelles connaissances et s'engager dans des tâches qui ne lui étaient pas à priori accessibles. Ainsi « *l'enseignant a un rôle fondamental de guide, d'assistant, de modélisateur et pas seulement celui d'aménageurs de situations où évolueraient les élèves* » [Demerval, 1993]. Pour favoriser la mise en œuvre de ce modèle pédagogique, c'est l'apprentissage par projet qui a été plébiscité puisque cette modalité pédagogique promeut la coopération et le travail en équipe

des étudiants, l'enseignant étant quant à lui aussi, d'une certaine façon, « membre de l'équipe » [Dewey, 1938]. Ce type d'apprentissage est assez souvent utilisé lorsqu'il est question d'enseignement au développement durable ou au changement climatique. Par exemple, l'engagement des élèves est l'un des aspects les plus difficiles de l'éducation au développement durable et au changement climatique [Barma *et al.*, 2015], [Cutter-Mackenzie & Rousell, 2019] et l'approche par projet est donc mise en œuvre pour stimuler la discussion avec des échanges d'opinions, pour générer des questions, créer des questions pour les apprenants ou démarrer des jeux collaboratifs [Oversby, 2015]. Le passage d'approches axées sur l'enseignant à un cadre plus ouvert intégrant les étudiants contribue à renforcer les capacités de réflexion critique et la compréhension des impacts complexes liés aux activités humaines [Burbules *et al.*, 2020]. Au-delà de la modalité pédagogique, nous avons aussi assisté à une évolution des supports pédagogiques avec par exemple :

- l'usage de plus en plus fréquent dans les formations en ingénierie de la réalité virtuelle immersive qui est utilisée pour des sorties « terrain » virtuelles [Petersen *et al.*, 2020],
- le développement de la pédagogie de l'interdépendance pour illustrer les interrelations entre les activités humaines, le changement climatique et les impacts projetés et actuellement rencontrés [Lehtonen *et al.*, 2018],
- l'utilisation de solutions logicielles numériques de plus en plus performantes et de plateformes de jeux pour répondre aux besoins numériques des étudiants [Wu et Lee, 2015],
- le développement d'initiatives « hors les murs », de bénévolat ou d'actions communautaires [Stevenson *et al.*, 2017].
- ...

Une telle évolution des programmes, des modalités pédagogiques et des outils et supports à disposition des enseignants peuvent être des obstacles pour des établissements du supérieur. De plus, la mise en œuvre d'enseignements sur le développement durable, le changement climatique, etc. peut aussi être un obstacle pour les équipes pédagogiques. En effet, de tels enseignements sont souvent interdisciplinaires, hors des champs disciplinaires « classiques » et relatifs à des concepts parfois flous et porteurs d'incertitude ce qui a pour effet de bloquer certains enseignants [Siegener, 2018]. Nous allons maintenant nous intéresser aux démarches et outils existants pour accompagner les établissements et les équipes qui souhaitent faire évoluer leurs programmes de formation et leurs méthodes pédagogiques.

2.2 Conduite du changement dans les programmes de formation en ingénierie : d'une approche disciplinaire à une approche par compétences

Traditionnellement, et de façon peut-être un peu caricaturale, la conception des offres de formation et des programmes d'étude dans l'enseignement supérieur s'appuient sur une organisation individuelle par « cours », en « silos » et assez disciplinaire. Lorsque les maquettes de formation doivent évoluer soit les équipes pédagogiques partent de l'offre existante et l'adaptent à minima au nouveau cadre de référence (si celui-ci a changé), soit elles s'appuient sur des référentiels d'activité et des profils de diplômé (Figure 6). Quelle que soit la solution retenue, les équipes vont ensuite travailler à la définition des savoirs scientifiques qui doivent apparaître dans le programme. Certains établissements enrichissent leur programme en définissant aussi les compétences qui seront développées dans la formation. Nous avons volontairement mis en pointillé l'étape « définition des compétences » sur la Figure 6, car ce n'est pas une étape fréquente dans une démarche « classique » de conception

d'une offre de formation. Cette étape aboutira à la définition des UE, des modalités d'évaluation et des règles de validation des UE et du parcours de formation (Figure 6). Au cours de ces différentes étapes, il peut parfois arriver que des enseignants n'interagissent peu ou pas avec leurs collègues et sont parfois totalement ignorants de ce que les autres enseignent. Cette organisation des cursus favorise souvent une accumulation de contenus disciplinaires distincts les uns des autres, non explicitement reliés entre eux. Cette approche assez linéaire est « rassurante » pour l'enseignant qui se retrouve dans une structure organisée de telle façon qu'il peut dispenser son savoir à ses étudiants. Il maîtrise le contenu de son cours, sans forcément se soucier de ses collègues, et tout en ayant le sentiment de donner des notions essentielles et primordiales dans la construction du savoir de ses étudiants.

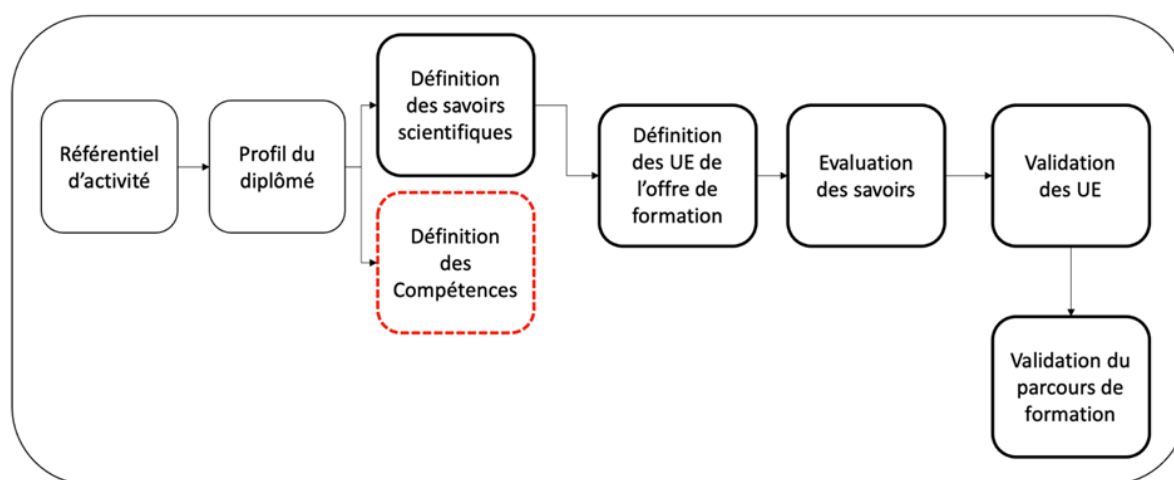


Figure 6. Démarche de conception d'une offre de formation centrée sur les savoirs disciplinaires

Cette façon de faire est en train de changer au profit d'approches plus transversales, plus structurées et moins empiriques : l'approche par compétences et l'approche programme.

2.2.1 Approche par compétence

L'approche par compétence est axée sur le développement des compétences au cours d'un programme d'étude. « *Il ne s'agit plus de faire produire des comportements reproductibles, mais de développer des dispositions à générer des conduites adaptées face à des situations diverses et changeantes* » [Chauvigné & Coulet, 2010]. Cette approche qui permet de définir les compétences attendues en fin de parcours d'étude pour réaliser une activité professionnelle, a été utilisée par de nombreux établissements (européens notamment mais peu en France – sauf exception des BUT (Bachelor Universitaire de Technologie) évolutions des DUT). Son usage a été favorisé par le fait que le processus de Bologne [Bologna Declaration, 1999] invite les établissements du supérieur à décrire les compétences associées à la délivrance de leurs différents diplômes. Elle permet également d'identifier les différents jalons permettant d'atteindre l'objectif visé dans une formation s'inscrivant dans un curriculum à travers un référentiel de compétences. Ce référentiel est « un descriptif global des compétences attendues d'un étudiant à la fin d'une formation ou d'une partie de formation » [Postiaux *et al.*, 2010].

Chaque compétence ainsi définie par ses attributs peut, par regroupement, constituer un bloc de compétences qui est défini par : « *un ensemble homogène et cohérent de compétences contribuant à l'exercice autonome d'une activité professionnelle et pouvant être évaluées et*

validées » [Légifrance, 2018] (Figure 7). Ces blocs peuvent être spécifiques à une certification professionnelle ou communs à plusieurs certifications. Dans le cadre de la formation initiale, ces blocs de compétences doivent s'intégrer au programme d'étude des écoles et universités. Ainsi, l'approche par compétence s'inscrit dans une démarche plus globale qui est l'approche programme. Ces deux approches sont indissociables et doivent se combiner pour proposer une véritable offre de formation.

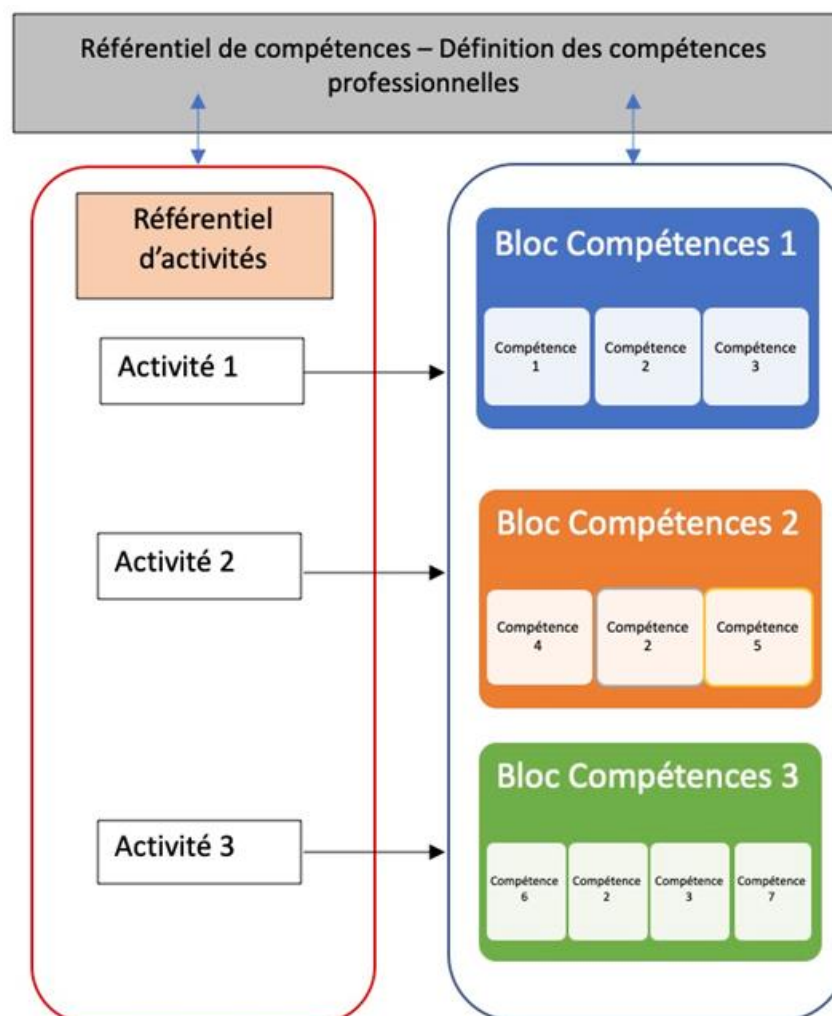


Figure 7. Exemple d'architecture d'une approche par compétence [Legifrance, 2018]

D'un point de vue réglementaire, l'approche par compétence et la notion de blocs de compétences sont apparus dès 2014 dans le cadre de la loi 2014-288 [Legifrance, 2014]. L'objectif était de répondre aux demandes des entreprises en termes de formation courtes en complément des diplômes, les blocs de compétences étant des « *objets finançables par le compte personnel de formation (CPF)* » [Bonnafous, 2017]. La place des blocs de compétences dans les formations accessibles dans le cadre de la formation tout au long de la vie a été renforcée en 2018 avec la loi pour « *la liberté de choisir son avenir professionnel* » [Légifrance, 2018]. Cette loi stipule entre autres chose que les organismes de formation délivrant un diplôme à finalité professionnelle (Bac technologique, BTS, licence pro, master pro, diplôme d'ingénieur...) doivent s'enregistrer dans le Répertoire National des Certifications Professionnelles (RNCP) qui participe de l'identification des compétences et des connaissances nécessaires pour exercer une activité professionnelle en particulier. Ces certifications professionnelles sont classées par niveau de qualification et domaines d'activité

et sont constituées de blocs de compétences. Pour être inscrite au RNCP, une formation doit être construite autour de 3 référentiels : un référentiel d'activités, un référentiel de compétences (organisé en blocs de compétences) et un référentiel d'évaluation [Légifrance, 2018].

2.2.2 Approche programme

L'approche-programme est une « *démarche d'ingénierie pédagogique visant à assurer la cohérence et l'harmonisation au sein et entre les différentes composantes d'un programme d'études afin de favoriser l'intégration des apprentissages chez l'étudiant tout au long de son parcours d'étude* » [Basque, 2013]. L'approche programme remet donc en question le paradigme traditionnellement ancré dans l'enseignement supérieur d'une organisation individuelle par « cours » et/ou disciplinaire. Pour déployer une approche par compétences dans un cursus de formation, il est nécessaire de la coupler avec une approche programme ce qui permet de développer les compétences transversales de façon la plus aboutie possible c'est-à-dire à un niveau taxonomique élevé. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, c'est le processus de Bologne et les réformes de l'organisation de l'enseignement supérieur qui ont conduit à ce que l'approche par compétences soit déployées en France. Pour ce qui est de l'approche par programme c'est le rapport Bertrand qui a permis de faire un peu évoluer les mentalités et les habitudes de travail [Bertrand, 2014]. Dans son rapport, Bertrand met en avant la nécessité d'une transformation pédagogique centrée sur l'étudiant, sur ce qu'il apprend et non plus sur ce qu'il faut apprendre à l'étudiant : « *Les dispositifs de formation devraient être centrés sur les résultats d'apprentissage plutôt que sur les inputs et viser des apprentissages en profondeur (c'est-à-dire sur le long terme), adaptés aux besoins du monde actuel : des compétences à développer plutôt qu'une accumulation de connaissances, la capacité à comprendre des systèmes complexes, des approches inter et pluridisciplinaires plutôt que strictement disciplinaires* ». Partant de ce postulat, il met en avant l'approche programme comme étant celle qui permet d'amorcer une démarche de développement curriculaire des programmes d'étude et de parcours de formation puisqu'elle s'appuie sur la définition des compétences attendus en fin de formation de l'étudiant (Figure 8).

Les recommandations ministérielles [Légifrance, 2019a] imposent aux universités de réfléchir désormais sous la forme d'une véritable approche programme et de développer des projets de formations avec des progression sur plusieurs années (progression sur 3 ans pour les Licences ou les BUT, et de 5 ans pour cursus intégrant les niveaux Masters). A titre d'exemple, la Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle (DGESIP) encourage à l'utilisation des approches par compétences et programme, et indique dans une note¹⁷ parue en Juin 2019 que les licences générales et professionnelles doivent inclure 5 blocs transversaux et des blocs disciplinaires dont le nombre peut varier de 1 à 6. Cette progression doit tenir compte des profils professionnels de sortie attendus par les entreprises et visés par les étudiants. Une telle organisation implique que les apports disciplinaires d'une même discipline et les compétences associées soient structurés et progressifs tout au long du parcours mais aussi que plus globalement l'ensemble des unités d'enseignement de la formation le soit aussi. Dans un tel contexte, l'approche par compétences prend alors tout son sens.

¹⁷ https://services.dgesip.fr/fichiers/20190628_FAQ_BLOCS_valide_cab.pdf

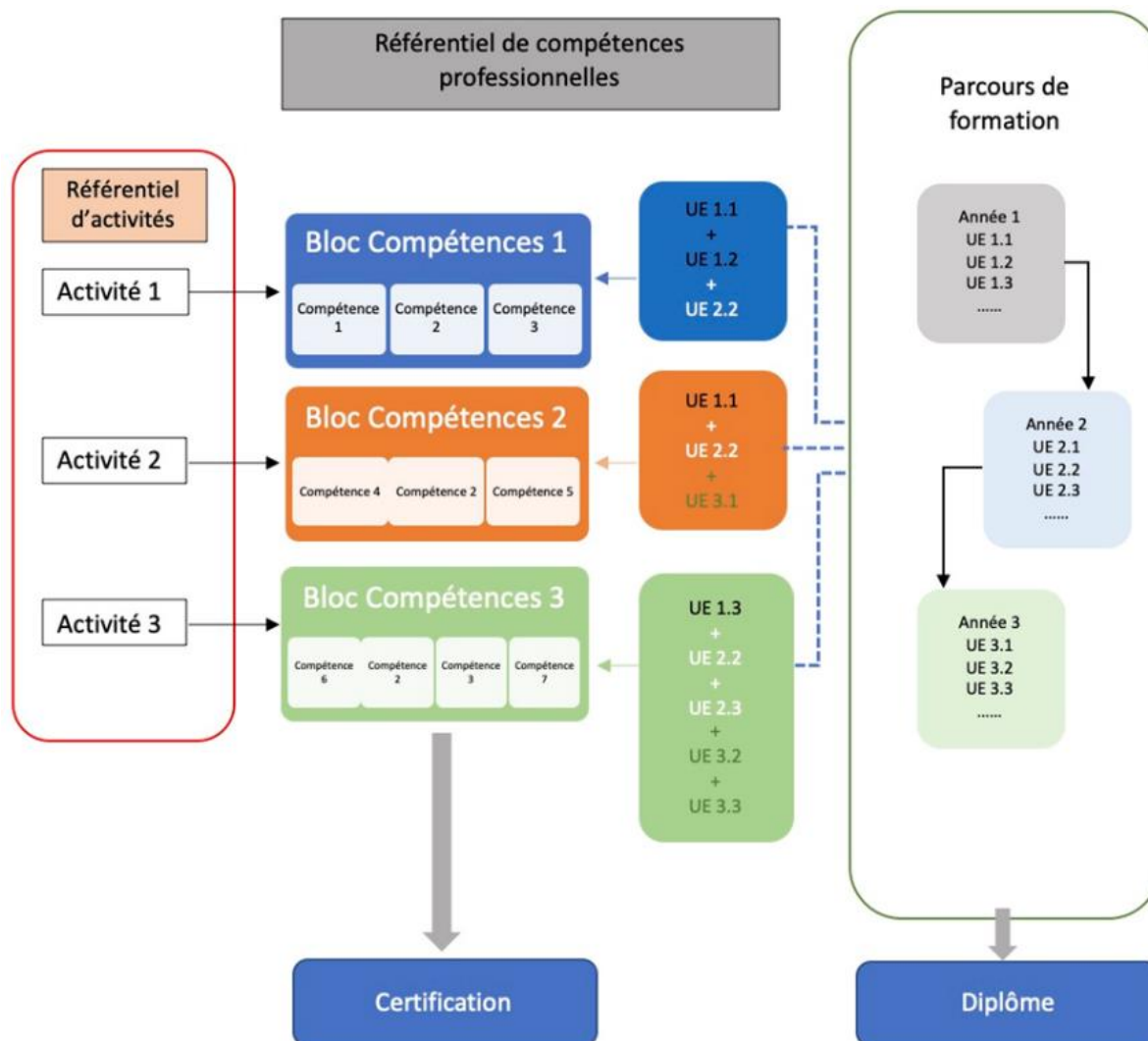


Figure 8. Synoptique d'une approche programme incluant l'approche par compétences

Comme pour toutes les formations, les offres de formations technologiques et en ingénierie devront être en mesure de proposer des parcours de formation structurés au sein desquels les futurs ingénieurs et techniciens développeront leur capacité à mobiliser et à combiner des connaissances et des compétences pour répondre dans un environnement technologique à des problématiques environnementales, sociales et économiques. Pour ce faire, l'objectif est d'amener petit à petit les équipes pédagogiques à s'approprier l'approche par compétences et l'approche programme et à les mettre en œuvre en s'appuyant sur une démarche structurée pour développer des offres de formations conduisant à former des diplômés avec des profils répondant aux besoins des entreprises et en phase avec les grands enjeux environnementaux, sociétaux et économiques. C'est pour répondre à cet objectif que nous proposons une démarche de conception d'une offre de formation qui part de la démarche « classique » (Figure 6) et intègre les approches par compétence et programme (Figure 9). Cette démarche pour la conception d'une offre de formation est une synthèse des approches existantes, elle donne les étapes principales qui aident à la structuration et à la définition des grandes lignes d'un programme de formation. Cette démarche doit conduire à :

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

1. La définition du ou des profils des diplômés en fonction de la ou des familles d'activités professionnelles dans lesquelles les étudiants vont s'orienter à la sortie de la formation,
2. La définition des compétences à développer et à évaluer au cours de la formation et à la structuration de l'offre sous forme d'Unités d'Enseignement (UE) à valider par les étudiants,
3. L'évaluation des acquis des étudiants dans le cadre des UE qui correspond à la validation des compétences, des blocs de compétences et conduira la validation du parcours de formation et donc, sous certaines conditions, à la diplomation des étudiants inscrits dans le parcours de formation.

Nous décrirons plus précisément ces éléments dans le chapitre 4 lorsque que nous montrerons comment exploiter cette démarche dans le cadre de la conception d'une offre de formation en ingénierie durable.

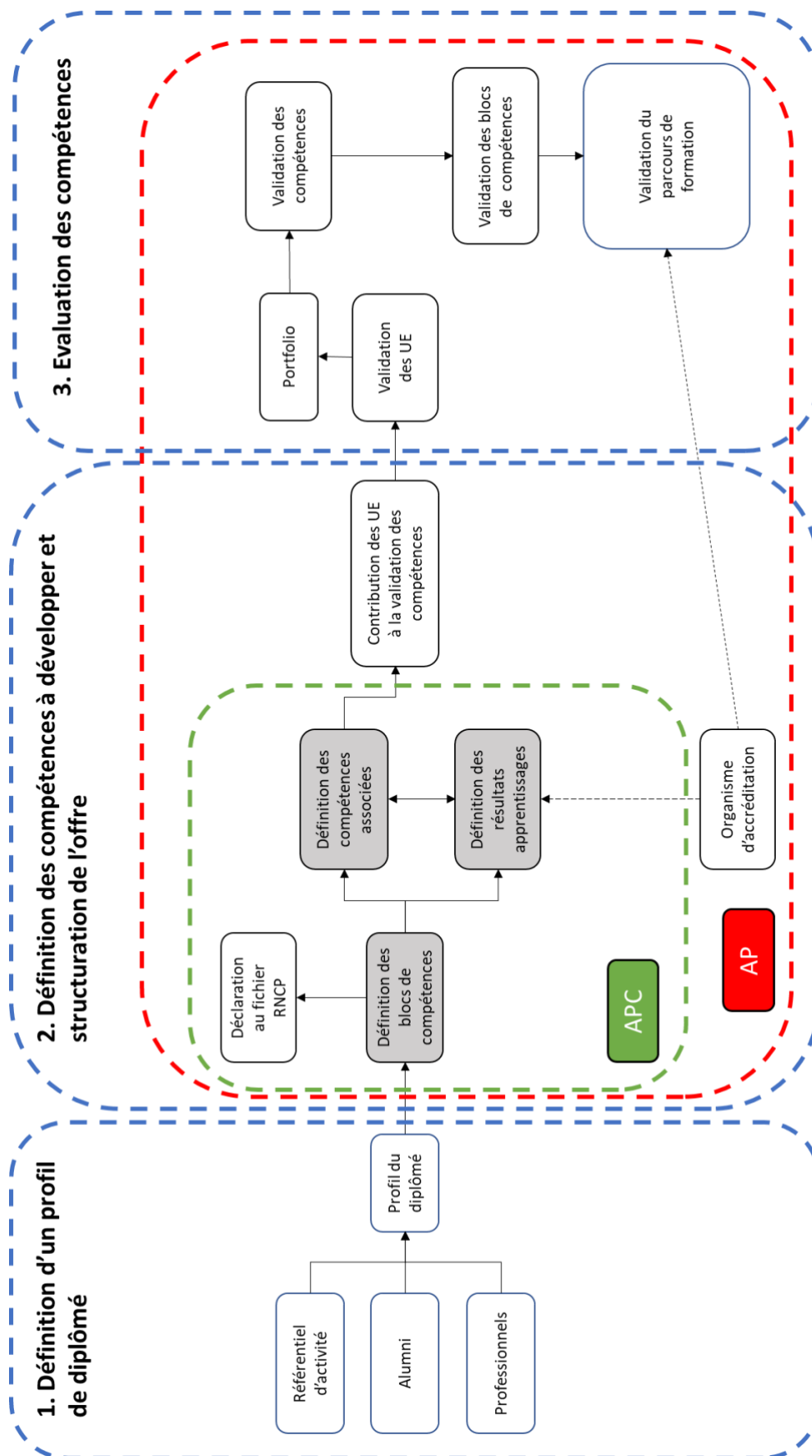


Figure 9. Proposition de démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme

3 Quelles compétences pour quel profil de diplômé ?

L'expérience montre que le déploiement d'une approche par compétences et/ou d'une approche programme sont souvent difficiles au sein des établissements car elles ne sont pas ancrées dans les usages des enseignants et sont parfois antagonistes à leurs façons de travailler. Le principal verrou à lever face aux réticences ou aux oppositions des enseignants concerne l'explicitation de ce qu'est une « compétence ». En effet, ce terme est parfois flou et ne fait forcément pas sens pour les collègues qui préféreront naturellement se rattacher aux concepts et connaissances disciplinaires qu'ils maîtrisent beaucoup mieux. Pourtant il est primordial que le concept soit bien appréhendé car c'est la bonne identification et définition des compétences qui permettront de définir le « bon » profil du diplômé puis de concevoir et déployer des blocs de compétences adaptés (Figure 9). Même si chaque établissement pourra définir son propre référentiel de compétences en fonction de son histoire, de ses atouts en formation et en recherche, du profil de ses équipes, il faut que ce référentiel soit construit en évitant que cela soit fait sans réellement se questionner sur les fondements de ce qu'est une compétence. Il ne faut pas tomber, comme cela arrive parfois, dans le travers du simple « *effet d'affichage dans une offre de formation pour répondre à des critères administratifs* » [Chauvigné et al., 2010]. Ce travers est souvent le résultat du fait que « *les définitions même des compétences sont méconnues au sens qu'elles ne sont pas reconnues à leur juste valeur par certains acteurs de l'enseignement supérieur, comme s'ils considéraient ces définitions comme des formulations élégantes d'un concept déjà maîtrisé* » [Escrig, 2019]. Il est donc nécessaire de définir clairement ce qu'est une compétence et ce que doivent être les compétences dans les formations technologiques et en ingénierie pour pouvoir ensuite l'intégrer dans les offres de formations.

3.1 Les compétences des ingénieurs et décideurs de demain

Comme l'indique Le Boterf [Le Boterf, 2006] la compétence est une « *notion faible pour des enjeux forts* ». Le concept de compétences est parfois difficile à définir car il en existe dans la littérature scientifique plusieurs définitions :

- Pour Le Boterf [Le Boterf, 1994], la compétence est d'abord un « *savoir agir en situation* ». Puis être compétent [Le Boterf, 2001] c'est « *savoir agir c'est-à-dire mettre en œuvre une pratique professionnelle pertinente pour gérer une situation en mobilisant dans cette pratique une combinatoire appropriée de ressources internes (ou personnelles) et externes (banques de données, personnes ressources...)* »
- Pour Perrenoud [Perrenoud, 1999] « *une compétence est une capacité d'action efficace face à une famille de situations, qu'on arrive à maîtriser parce qu'on dispose à la fois des connaissances nécessaires et de la capacité de les mobiliser à bon escient, en temps opportun, pour identifier et résoudre de vrais problèmes* »
- Pour Beckers [Beckers, 2002] c'est : « *la capacité d'un sujet de mobiliser, de manière intégrée, des ressources internes (savoirs, savoir-faire et attitudes) et externes pour faire face efficacement à une famille de tâches complexes pour lui.* »
- Pour Tardif [Tardif, 2006] « *Un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations* »

Même si la multiplicité des définitions laisse à penser qu'il n'y a pas consensus, des points de convergence existent néanmoins entre ces définitions : la famille de situation, la capacité,

l'utilisation des ressources (interne/externe) et le savoir agir. L'enjeu va consister à considérer, spécifier et contextualiser ces éléments dans le cadre d'un programme de formation pour que les diplômés soient « en capacité de savoir-agir dans une situation donnée en mobilisant des ressources internes et externes ». Pour répondre à cet objectif [Cheetham & Chivers, 1996] ont défini un modèle de compétences professionnelles composé de compétences clés :

- La compétence cognitive : avoir des connaissances professionnelles appropriées et la capacité de les utiliser efficacement
- La compétence fonctionnelle : la capacité d'exécuter une gamme de tâches liées au travail pour produire des résultats spécifiques
- La compétence personnelle/comportementale : la capacité d'adopter des comportements appropriés dans des situations liées au travail
- La compétence éthique : la possession de valeurs professionnelles appropriées et la capacité de porter des jugements éclairés

A ces quatre compétences clés sont associées des méta-compétences telles que la créativité, l'analyse, la communication... qui, si elles sont combinées correctement, peuvent permettre d'atteindre des objectifs d'apprentissage. Ce modèle général peut être appliqué à tous les métiers mais, selon les spécificités de chacun, des compétences principales et des compétences transversales seront définies. Ceci s'explique par le fait que les entreprises souhaitent avoir des collaborateurs maîtrisant un ou plusieurs domaines technologiques (souvent associés aux compétences principales) et possédant un socle de compétences transversales leur permettant de travailler en équipe pluridisciplinaire pour répondre à des enjeux sociaux et économiques de plus en plus variés. Le World Economic Forum (WEF) publie tous les 5 ans le « top 10 » des compétences recherchées et dans son rapport de 2020 [WEF, 2020] il est intéressant de remarquer que les premières compétences recherchées et attendues sont des compétences transversales qui permettent de répondre aux futurs enjeux de la société et qui démontrent aussi une capacité à s'adapter à un monde qui est devenu imprévisible et incertain (Figure 10).

Top 10 skills of 2025



Figure 10. Top 10 des compétences recherchées par les entreprises en 2025 [WEF, 2020]

Pour en revenir aux compétences dans les domaines technologiques, la complexité des systèmes technologiques et sociotechniques d'aujourd'hui fait qu'il est nécessaire de posséder des savoirs dans plusieurs champs disciplinaires. Même s'il y a toujours un champ disciplinaire « dominant » dans les formations technologiques, des champs disciplinaires connexes doivent également être intégrés, comme l'illustre le modèle « T-shaped » (Figure 11). Ce modèle met en évidence que les ingénieurs et décideurs de demain doivent avoir des connaissances solides dans leur domaine de spécialité (« hard skills » - barre verticale du T) mais également des connaissances et des compétences en dehors de leur propre discipline (barre horizontale niveau 1) complétées par des compétences transversales (« soft skills » - barre horizontale niveau 2)¹⁸. Ces compétences ne sont pas opposées les unes aux autres mais bien complémentaires.

¹⁸ “The ideal T-shape graduate is a top expert in one field but he can build bridges to other 5 disciplines and is able to think out of the box” [Spohrer & Gardner, 2015]



Figure 11. Modèle de compétences d'un ingénieur « T-shaped » [Spohrer & Gardner, 2015]

Les compétences transversales ou encore appelées « soft skills » ou « generic skills » ont émergé suite à « l'évolution du monde du travail, notamment avec la robotisation, l'automatisation et l'intelligence artificielle, [qui] nous oblige à miser sur le capital humain » [Bouret *et al.*, 2014]. Ces « soft skills » représentent des compétences mobilisables dans des contextes variés et qui sont difficilement reproductibles par des machines. Cette non reproductibilité par des machines fait que les soft skills contribuent à ne pas rendre obsolètes les compétences d'une population formée en lui donnant notamment les armes pour s'adapter à des situations évolutives et de continuer d'apprendre à apprendre. Sont très souvent catégorisés comme des soft skills : le travail en équipe, la communication, la pensée critique, l'estime de soi, l'éthique ou la résolution de problème [Kamsah, 2004], [Berglund *et al.*, 2014], [Chaibate, 2017]. Définir une compétence comme « soft » peut toutefois se révéler compliqué car selon les métiers ce qui relève du technique/disciplinaire (« hard ») se relèverait être au contraire du soft pour d'autres. Ainsi la communication très souvent classée comme une soft skill peut se révéler être une compétence classée « hard » pour des métiers dont c'est l'activité centrale.

Au milieu des années 90, un décalage de plus en plus fort est apparu entre la formation des ingénieurs et les besoins des employeurs à concevoir et produire des systèmes de plus en plus complexes, demandant un travail d'équipe soutenu et une communication accrue. La première liste de compétences transversales nécessaires à un ingénieur a été rédigée par et pour le constructeur Boeing [McMasters & Matsch., 1996]. Elle faisait référence à 6 compétences transversales – soft skills :

- La communication (écrite, orale...),
- L'éthique,
- La pensée critique et créative,
- La flexibilité, s'adapter rapidement au changement,
- La curiosité et le désir d'apprendre tout au long de la vie,
- Le travail en équipe.

C'est donc poussées par les industriels que les universités et les écoles d'ingénieurs se sont progressivement penchées, au milieu des années 90, sur la question de la définition et de l'intégration des compétences transversales dans les formations technologiques et en ingénierie. Ce qui est intéressant de noter c'est que ces compétences transversales ont finalement peu évolué depuis presque 25 ans et que ces termes sont toujours présents dans les programmes et les référentiels de formation. La genericité de ces termes a au moins deux avantages. En effet, elle permet : 1. de répondre à une demande des professionnels, 2. de les faire apparaître dans les programmes de formation sans que les établissements soient obligés d'explicitier les compétences et modalités de formation associées.

La place de plus en plus importante des questions relatives au développement durable et au changement climatique font que nous assistons à une remise en cause de ces soft skills, notamment de leur nombre (élargissement de la « liste » au-delà de 6). Dès 2010, dans un rapport de l'UNESCO [UNESCO, 2010] il est souligné qu'un secteur de croissance important concerne l'ingénierie « verte » ou durable. Ainsi, « *L'ingénierie doit se présenter comme un domaine pertinent capable de résoudre les problèmes contemporains, afin de devenir plus responsable socialement et de faire le lien avec les questions éthiques liées au développement* ». Dans ce même rapport, la Fédération mondiale des organisations d'ingénieurs (WFEO¹⁹), indique que pour l'ingénierie, cela signifie « *jouer un rôle important dans la planification et la construction de projets qui soutiennent les environnements humains et naturels [...] pour cela il est nécessaire de mettre en œuvre une éducation technologique au développement durable (EESD²⁰) qui est un vaste domaine couvrant les aspects techniques, sociaux et économiques* ». Le développement durable et le changement climatique imposent donc de nouveaux défis dans les secteurs de l'éducation et de la formation qui doivent contribuer à former et à aider les jeunes générations à acquérir suffisamment de connaissances et de compétences pour envisager et développer leurs propres solutions d'atténuation et d'adaptation. Le rôle de l'éducation au développement durable et au changement climatique (ECC) en ce qui concerne la réalisation des ODD est incontestable et largement reconnu [Wang et al., 2013], [Mochizuki & Bryan, 2015], [Chang et Pascua, 2017b]. C'est pour aller dans ce sens que l'UNESCO a proposé dans son rapport de 2017, 8 compétences essentielles (transversales) à développer chez les élèves et les étudiants pour entrer dans une démarche de développement durable (Figure 12) [UNESCO, 2017] :

1. **Compétence sur le plan de l'analyse systémique** : capacité de reconnaître et comprendre les relations, d'analyser des systèmes complexes, d'appréhender la manière dont les systèmes s'inscrivent dans différents domaines à différentes échelles, et de prendre en compte les éléments d'incertitude.
2. **Compétence sur le plan de l'anticipation** : capacité de comprendre et d'évaluer de multiples futurs possibles, probables et souhaitables, de forger ses propres visions du futur, d'appliquer le principe de précaution, d'apprécier les conséquences de telle ou telle action, et de prendre en compte les risques et les changements.
3. **Compétence sur le plan normatif** : capacité de comprendre et analyser les normes et les valeurs sur lesquelles reposent ses propres actions, et de négocier les valeurs, les

¹⁹ WFEO: World Federation of Engineering Organizations

²⁰ EESD: Engineering Education for Sustainable Development

principes, les objectifs et les cibles relatifs à la durabilité, dans un contexte de conflits d'intérêts et de compromis, de connaissances incertaines et de contradictions.

4. **Compétence sur le plan stratégique** : capacité de concevoir et mettre en œuvre collectivement des actions innovantes qui accroissent la durabilité au niveau local et au-delà.
5. **Compétence sur le plan de la collaboration** : capacité d'apprendre des autres, de comprendre et respecter les besoins, les points de vue et les actes d'autrui (empathie), de comprendre les autres, de nouer des liens avec eux et de leur prêter attention (leadership empathique), d'apaiser les conflits au sein d'un groupe et de faciliter la résolution des problèmes sur la base de la collaboration et de la participation.
6. **Compétence sur le plan de la réflexion critique** : capacité de remettre en question les normes, les pratiques et les opinions, de réfléchir à ses valeurs, perceptions et actions propres, et de prendre position dans le discours sur la durabilité.
7. **Compétence sur le plan de la connaissance de soi** : capacité de réfléchir à son propre rôle au sein de la communauté locale et de la société (de la communauté mondiale), d'évaluer sans cesse ses propres actions et d'en approfondir les motivations, et de maîtriser ses sentiments et ses désirs.
8. **Compétence sur le plan de la résolution intégrée des problèmes** : capacité générale d'appliquer différents cadres de résolution à des problèmes de durabilité complexes et de concevoir, pour y répondre, des options viables, inclusives et équitables, promouvant le développement durable, en combinant les compétences susmentionnées.

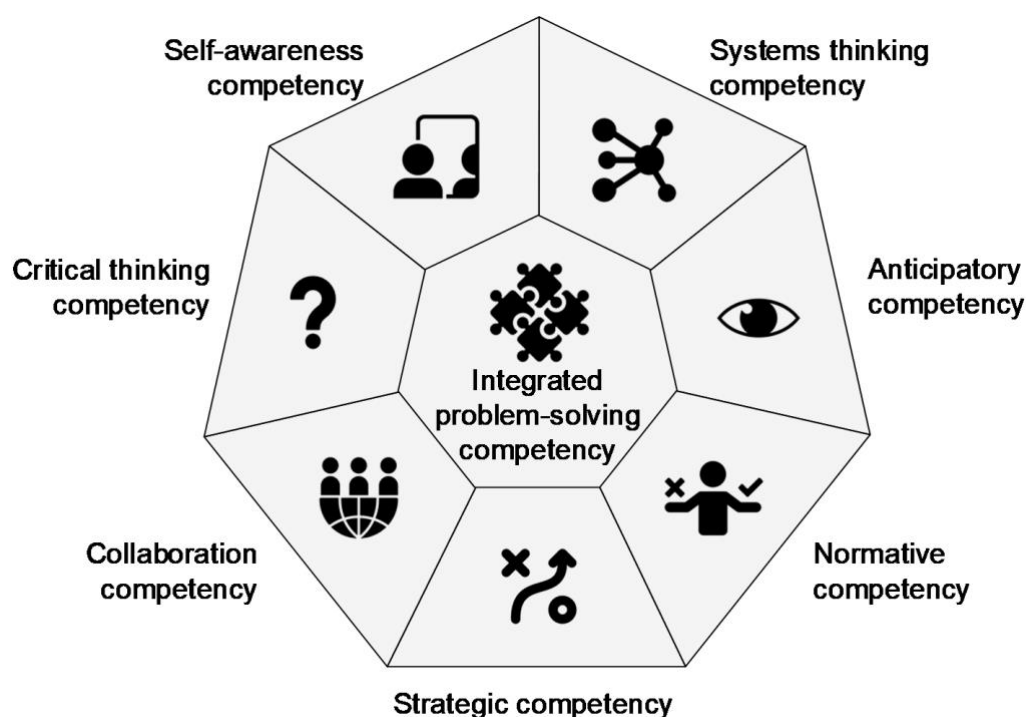


Figure 12. Les 8 compétences essentielles pour entrer dans une démarche de développement durable [UNESCO, 2017]

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

La proposition de l'UNESCO s'appuie sur de nombreux travaux de recherche qui, dès 2006, pointaient la nécessité d'acquérir des compétences transversales clés et spécifiques pour répondre aux principaux enjeux de la durabilité (Tableau 2). Tous ces auteurs ont en commun de promouvoir les compétences liées à la communication et l'interdisciplinarité et d'insister sur le besoin d'avoir une vision la plus globale possible en utilisant la pensée systémique. Certaines de ces compétences ne sont pas exclusives au développement durable et peuvent être mobilisées par les étudiants dans de nombreux cours.

Tableau 2. État de l'art des compétences clés pour le développement durable [Perpignan et al., 2020]

Auteurs	Compétences clés pour le durabilité (Key competencies for sustainability)
De Haan, 2006	Foresighted thinking, working in interdisciplinarity, cosmopolitan perception, transcultural understanding, learning participatory, planning and implementation skills, capacity of empathy, self-motivation and motivating others, distanced reflection
Barth et al, 2007	Interdisciplinary cooperation, socio-communicative skills, team leading
Segalas et al., 2009	Self-learning, cooperation and transdisciplinary, SD problem solving, systemic thinking, critical thinking, social participation
Wiek et al., 2011	Systemic thinking, anticipatory, normative competence, strategic competence, interpersonal competence
Frisk, Larson, 2011	System thinking and understanding of interconnectedness, long term foresighted reasoning and strategizing, stakeholder engagement and group collaboration, action-oriented and change-agent skills

Du point de vue de l'UNESCO, l'enjeu est d'inciter à ce que les programmes et les objectifs de formation de l'enseignement primaire à l'enseignement supérieur intègrent des compétences et connaissances techniques, des compétences transversales, notamment les méta compétences ou compétences clés pour le développement durable (Figure 12), et qu'ils s'appuient sur des valeurs à construire ou à renforcer (Figure 13). Le but est de permettre aux générations futures de répondre aux enjeux de durabilité et d'adaptation au changement climatique.

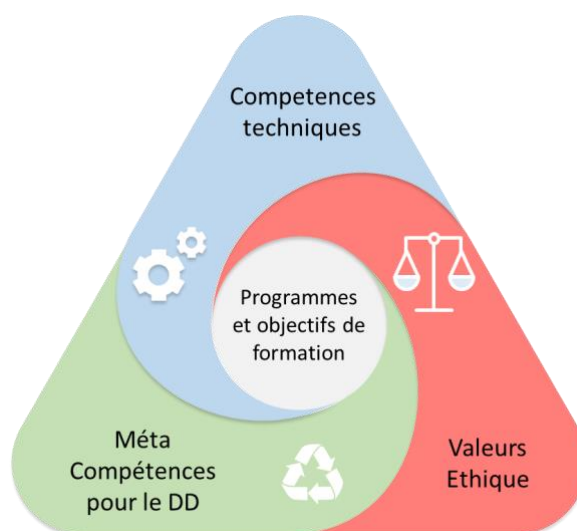


Figure 13. Illustration des compétences et valeurs en lien avec le DD à intégrer dans les programmes de formation

Toutefois, l'intégration de la thématique du développement durable dans les cursus technologiques est lente et difficile [Rose *et al.*, 2015] et plusieurs approches ont été adoptées [Lozano & Young, 2013] :

1. Une certaine couverture de problèmes environnementaux et/ou sociaux dans un cours existant,
2. Un cours spécifique de développement durable ajouté au curriculum,
3. Le développement durable est lié en tant que concept dans les cours disciplinaires préexistants, les questions pertinentes de la composante durable étant adaptées à la nature de chaque cours,
4. Le développement durable est proposé en tant que spécialisation dans le cadre d'une formation particulières au sein d'une institution.

Une étude menée par le Think Tank « *Shift Project* » indique que seulement 7% des formations universitaires françaises abordent les questions environnementales dans leur offre de formation [Vorreux *et al.*, 2019]. Les approches les plus plébiscitées sont soit verticales/descendantes basées sur des cours magistraux expliquant les enjeux du développement durable, soit plus horizontales/transversales distillant des éléments relatifs au développement durable dans les cours des professeurs volontaires pour le faire. Certaines formations proposent parfois un module de spécialisation sur les aspects environnementaux (l'enseignement technologique à un niveau master peut se focaliser sur l'éco-conception et l'analyse de cycle de vie par exemple). Dans d'autres pays comme le Danemark²¹ (basculement de "nice to have" à "need to have") [Olsen *et al.*, 2018], le Mexique²² [Lozano & Lozano, 2014] ou en Espagne [Segalas & Sanchez Carracedo, 2020] des universités essaient d'établir des curriculums de formation niveau Bachelor (Licence en France) permettant l'intégration du développement durable dans les formations technologiques. Ces expérimentations ont permis d'identifier une 5^{ème} approche à privilégier pour intégrer le développement durable dans les formations technologiques :

5. Développer un programme spécifique et intégré, basé sur la durabilité, qui cible les demandes de professionnels de l'ingénierie possédant cette expertise [Lozano & Young, 2013], [Lourdel, 2005].

Cette approche intégrée permet aux futurs ingénieurs de développer leur capacité à résoudre des problèmes techniques sollicitant des connaissances scientifiques et technologiques tout en ayant une analyse critique des problèmes. Les cursus mettent alors l'accent sur le savoir, l'action et le savoir-être en utilisant des stratégies de pédagogie où les étudiants doivent répondre à des situations d'apprentissage contextualisées [Jamison *et al.*, 2014].

Quelle que soit l'approche retenue, les équipes pédagogiques qui souhaiteront intégrer dans leurs formations des compétences et connaissances techniques, des compétences transversales, les compétences clés pour le développement durable, et des valeurs à construire ou à renforcer, vont forcément utiliser des référentiels de compétences pour concevoir leur offre formation (sauf à conserver une méthode empirique). Il nous semble donc incontournable d'étudier les référentiels les plus utilisés pour la conception des programmes de formation pour étudier la place qui est faite aux connaissances et

²¹ Technical University of Denmark (DTU)

²² Tecnológico de Monterrey

compétences techniques, aux compétences transversales, aux valeurs et à l'éthique, et donc la place des compétences clés pour un développement durable. L'objectif est d'évaluer s'ils peuvent éventuellement être des supports et des outils sur lesquels s'appuyer pour faire évoluer les programmes pour qu'ils soient plus « durables ».

3.2 Analyse des référentiels de compétences ingénieur et leurs spécificités

Les différents référentiels d'accréditation de formation d'ingénieur reposent sur les mêmes principes d'exigences institutionnelles, administratives et pédagogiques. L'enjeu étant que les établissements de formation développent un programme spécifique et intégré, basé sur la durabilité, qui cible des compétences en répondant aux demandes de professionnels de l'ingénierie. Nous allons particulièrement nous intéresser aux compétences et aux exigences liées aux acquis de formation présentes dans les référentiels. Au fil des années chaque pays a développé ses référentiels de formation et il existe donc un grand nombre de référentiels. Pour avoir une vision assez large mais malgré tout représentative, nous nous sommes focalisés sur des référentiels qui font référence (ABET, CDIO par exemple) ou qui sont le fruit d'une collaboration entre plusieurs pays (ENAE et le label EUR-ACE pour l'Europe par exemple). Nous avons aussi étudié les compétences associées au référentiel de la CTI spécifique au modèle français.

3.2.1 Référentiels non adossés à une démarche de conception d'un programme de formation

3.2.1.1 Le référentiel de l'ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*)

L'agence américaine ABET est une émanation des principales associations professionnelles d'ingénieurs telles que la Société américaine des ingénieurs du génie civil (ASCE) ou l'Institut des ingénieurs en électricité et électronique (IEEE). L'ABET a défini un cadre de référence afin de certifier les formations d'ingénieur et certifie également les programmes dispensés à travers le monde depuis 2007. L'ABET a quatre commissions au sein de son organisation qui certifie les formations selon différents champs d'ingénierie mais nous porterons notre attention plus particulièrement sur l'Engineering Accreditation Commission (EAC) qui certifie les formations telles que les cursus de génie mécanique, génie civil, génie industriel ou génie électronique. Cette commission a défini 8 critères à respecter pour obtenir la certification [ABET, 2021] :

- **Critère 1 – Étudiants** : les attendus sur ce critère concernent le fait que les performances des élèves doivent être évaluées, que leurs progrès doivent être suivis pour favoriser leur réussite et l'atteinte de objectifs du programme de formation (savoirs) et des objectifs pédagogiques (compétences).
- **Critère 2 – Objectifs pédagogiques du programme** : pour ce critère ABET demande à ce que le programme de formation soit publié, que les objectifs pédagogiques soient cohérents avec la mission de l'établissement et les besoins et capacités des différentes composantes de formation de l'établissement et toutes les parties prenantes du programme de formation.
- **Critère 3 – Profil des étudiants** : le programme de formation doit décrire le profil des étudiants attendu en fin de formation (savoirs, compétences, capacités, etc.) en cohérence avec les objectifs de formation. Les résultats des étudiants conduisent à l'obtention de diplômes et justifient que l'étudiant est prêt à entrer dans les pratiques professionnelles de l'ingénieur. ABET propose que le profil des étudiants diplômés

s'article autour de 7 capacités que nous détaillerons plus en avant dans ce paragraphe.

- **Critère 4 – Amélioration continue** : l'établissement doit mettre en place un processus d'amélioration continue pour évaluer dans quelle mesure les objectifs de formation des étudiants sont atteints et ajuster le programme, les dispositifs et moyens de formation si besoin.
- **Critère 5 – Programme d'études** : le programme d'études précise les matières étudiées et leur adéquation avec les métiers de l'ingénierie. Le curriculum du programme doit fournir un contenu adéquat pour chaque domaine, conformément aux objectifs de formation pour les étudiants et aux objectifs pédagogiques, pour s'assurer que les étudiants sont prêts à entrer dans la pratique de l'ingénierie.
- **Critère 6 – L'établissement de formation (ou Faculté)** : l'établissement doit démontrer que les membres du corps professoral sont en nombre suffisant et qu'ils ont les compétences pour couvrir tous les domaines d'études du programme d'études. La capacité globale de l'établissement peut être jugée par des facteurs tels que les compétences en éducation, la diversité des enseignants, leur expérience en ingénierie, l'efficacité des enseignements, leur capacité à communiquer, leur enthousiasme à développer des programmes efficaces, leur participation à des sociétés savantes ou professionnelles, etc.
- **Critère 7 – Les moyens mis à disposition pour les formations** : les salles de classe, les bureaux, les laboratoires et les équipements associés doivent être adéquats pour contribuer à l'atteinte des résultats des étudiants et créer une atmosphère propice à l'apprentissage. Des outils, des équipements, des ressources informatiques et des laboratoires modernes appropriés doivent être disponibles, accessibles et systématiquement maintenus et améliorés. Les services de la bibliothèque et l'infrastructure informatique et informationnelle doivent être adaptées pour soutenir les activités scolaires et professionnelles des étudiants et de l'établissement.
- **Critère 8 – Soutien institutionnel** : le soutien et le leadership institutionnels doivent contribuer à assurer la qualité et la continuité du programme de formations. Les ressources, y compris les services institutionnels, le soutien financier et le personnel (administratifs, techniques et corps professoral) doivent répondre besoins du programme.

Comme nous nous intéressons à la place que les compétences clés pour un développement durable occupent dans les référentiels nous allons nous focaliser plus particulièrement sur les critères 3 et 5 qui concernent les contenus d'apprentissage en lien avec le profil visé pour les étudiants diplômés et leur organisation dans les programmes de formation. En complément de la définition générale du critère 3, l'ABET définit aussi les résultats d'apprentissage de la formation et les 7 capacités (ou compétences) associées :

1. Capacité à identifier, formuler et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes en appliquant les principes de l'ingénierie, de la science et des mathématiques.
2. Capacité à appliquer les principes de la conception technique pour produire des solutions qui répondent aux exigences spécifiées et des besoins en tenant compte de la santé publique, de la sécurité et du bien-être, ainsi que facteurs culturels, sociaux, environnementaux et économiques.
3. Capacité à communiquer efficacement auprès d'un large éventail de publics.

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

4. Capacité à reconnaître les responsabilités éthiques et professionnelles de l'ingénieur dans différentes situations et à porter des jugements éclairés qui doivent tenir compte de l'impact des solutions d'ingénierie dans des contextes économiques, environnementaux et sociétaux multiples et mondiaux.
5. Capacité à évoluer efficacement au sein d'une équipe : leadership partagé, création d'un environnement collaboratif et inclusif, définition des objectifs, planification des tâches et atteinte des objectifs partagés et collégiales.
6. Capacité à développer et à mener des expérimentations appropriées, à analyser et interpréter les données et à utiliser un jugement technique avisé pour en tirer des conclusions.
7. Capacité à acquérir et à appliquer de nouvelles connaissances en fonction de l'évolution des besoins, en utilisant des stratégies d'apprentissage adaptées.

Ces 7 critères renvoient à des compétences techniques, transversales et à des valeurs que les concepteurs de formation vont devoir questionner et intégrer dans leur programme de formation s'ils veulent être en accord avec le référentiel ABET. Une analyse plus détaillée met en évidence que les critères 1, 2, 4, 6 et 7 vont conduire à une réflexion sur les compétences techniques à intégrer dans le programme, que la prise en compte des critères 2, 3, 4, 5, 6 et 7 oblige la mobilisation de compétences transversales par les étudiants et enfin que les critères 2, 4 et 5 nécessitent que les équipes pédagogiques réfléchissent aux questions en liens avec les valeurs et l'éthique du métier d'ingénieur (Tableau 3).

Tableau 3. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par l'ABET

Critère 3 - ABET	Compétences Techniques	Compétences Transversales	Valeurs/éthique
Capacité 1	Application des principes de l'ingénierie, de la science et des mathématiques		
Capacité 2	Application des principes de la conception technique pour produire des solutions qui répondent aux exigences spécifiées et des besoins	Prise en compte de la santé publique, de la sécurité et du bien-être, ainsi que facteurs culturels, sociaux, environnementaux et économiques	Prise en compte de la santé publique, de la sécurité et du bien-être, ainsi que facteurs culturels, sociaux, environnementaux et économiques
Capacité 3		Communication efficace auprès d'un large éventail de publics	
Capacité 4	Connaissance des limites de la technique pour pouvoir porter des jugements éclairés qui tiennent compte de l'impact des solutions d'ingénierie dans des différents contextes	Capacité à porter des jugements éclairés en tenant compte de l'impact des solutions d'ingénierie dans des contextes économiques, environnementaux et sociétaux multiples et mondiaux	Reconnaissance des responsabilités éthiques et professionnelles de l'ingénieur dans différentes situations
Capacité 5		Capacité à évoluer efficacement au sein d'une équipe	Capacité à adopter une posture éthique vis-à-vis de ses collègues
Capacité 6	Développement et conduite d'expérimentation, analyse et interprétation de données	Capacité d'analyse et de prise de décision	
Capacité 7	Compréhension des concepts techniques et scientifiques en vue de leur acquisition	Compétences d'apprentissage	

Même s'il est de la responsabilité de chaque établissement et à chaque équipe pédagogique de développer son propre programme et de le mettre en œuvre avec des modalités pédagogiques permettant de développer les compétences transversales, il est important de noter que le référentiel ABET permet théoriquement de mobiliser les 8 compétences essentielles de l'UNESCO pour entrer dans une démarche de développement durable. Dans ce référentiel ce sont les compétences telles que la vision systémique (Capacité 2), le travail en équipe et la communication (Capacités 3 et 5), la résolution de problèmes complexes (Capacité 6) qui sont les plus identifiables. Pour que ces 8 compétences soient présentes et travailler au cours du cursus des étudiant, ABET oriente l'organisation et la mise en œuvre de l'offre de formation par l'intermédiaire du Critère 5. En effet, ce critère oblige qu'au-delà des compétences techniques, une attention particulière soit portée aux humanités et aux sciences sociales : « *Le curriculum du programme doit fournir un contenu adéquat pour chaque domaine, conformément aux objectifs de formation pour les étudiants et aux objectifs pédagogiques, afin de garantir que les étudiants sont prêts à entrer dans la pratique de l'ingénierie. Le programme doit comprendre :*

- a- *Un minimum de 30 crédits ECTS d'une combinaison de mathématiques et de sciences fondamentales avec des activités expérimentales appropriées au programme.*
- b- *Un minimum de 45 crédits ECTS de sujets d'ingénierie appropriés au programme, comprenant l'ingénierie, l'informatique, la conception technique et utilisant des outils d'ingénierie modernes.*
- c- *Une large composante éducative incluant les humanités et les sciences sociales qui complète le contenu technique du programme et qui est conforme aux objectifs éducatifs du programme.*
- d- *Une expérience de conception technique majeure qui 1) incorpore des normes d'ingénierie appropriées et des contraintes multiples, et 2) est basée sur les connaissances et les compétences acquises lors de travaux de cours antérieurs. »*

3.2.1.2 *Le référentiel de l'ENAE (European Network for Accreditation of Engineering Education)*

L'association ENAE [ENAE, 2021] vise à créer un cadre européen d'accréditation des programmes de formation d'ingénieur dans le but d'améliorer la qualité des ingénieurs diplômés, de faciliter leur mobilité professionnelle et de promouvoir la qualité et l'innovation dans leur formation. La création de cette association s'inscrit dans la démarche du processus de Bologne qui a contribué à faire qu'à partir de 2002 des groupes se sont donc constitués pour travailler sur les profils communs nécessaires pour exercer une profession en Europe. Dans le cas de l'ENAE, l'association a travaillé sur ce que devait maîtriser un ingénieur diplômé. Les agences nationales qui satisfont aux critères d'ENAE sont ensuite autorisées à délivrer le label EUR-ACE® aux programmes de formation d'ingénieur qu'elles accréditent dans leurs pays respectifs. Selon le référentiel défini par l'ENAE, les acquis de formation sont déclinés selon 8 domaines d'apprentissage déclinés pour le niveau Bachelor (Bac+3) et Master (Bac+5). Les apprentissages pour le niveau Bachelor sont présentés en (Annexe 1), les apprentissages dans les 8 domaines pour le niveau Master sont les suivants :

1. **Connaissance et compréhension** : le processus d'apprentissage doit permettre aux diplômés du Master de démontrer des connaissances approfondies en mathématiques et dans les disciplines en lien avec leur spécialisation en ingénierie, et de développer une conscience critique sur leurs disciplines de spécialisation ainsi que

sur le contexte multidisciplinaire plus large de l'ingénierie et des problèmes de connaissance à l'interface entre différents domaines.

2. **Analyse technique, expertise d'ingénierie** : les diplômés doivent être capables d'analyser des produits, processus et systèmes d'ingénierie nouveaux et complexes dans des contextes élargis ou multidisciplinaires. Ils doivent aussi être en mesure d'identifier, formuler et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes et inconnus qui sont incomplètement définis et qui peuvent impliquer des considérations extérieures à leur domaine d'études et non techniques – sociétales, santé et des contraintes sécuritaires, environnementales, économiques et industrielles. Ils doivent aussi pouvoir sélectionner et appliquer les méthodes les plus appropriées et pertinentes à partir des méthodes analytiques, computationnelles, expérimentales ou nouvelles et innovantes pour répondre aux problématiques techniques.
3. **Conception Technique** : Les diplômés doivent démontrer qu'ils ont la capacité de développer et concevoir des produits nouveaux et complexes (dispositifs, artefacts, etc.), des processus et des systèmes complexes, avec des spécifications incomplètement définies et/ou contradictoires, qui nécessitent l'intégration de connaissances issues de domaines différents et non techniques – sociétaux, santé et sécurité, environnement, économie et commercial. Ils doivent aussi être en mesure de sélectionner et appliquer les méthodologies de conception les plus appropriées et pertinentes ou utiliser leur créativité pour développer des méthodologies de conception nouvelles et originales.
4. **Enquêtes** : La formation doit faire que les diplômés soient en mesure d'identifier, de localiser et d'obtenir les données requises ; d'effectuer des recherches bibliographiques, de consulter et d'utiliser de manière critique des bases de données et d'autres sources d'information, pour effectuer une simulation afin de mener des enquêtes et des recherches détaillées sur des problèmes techniques complexes. Ils doivent aussi développer des compétences avancées en laboratoire/atelier pour concevoir et conduire des expérimentations, les évaluer de manière critique et en tirer les conclusions.
5. **Pratique de l'ingénierie** : les diplômés doivent avoir une compréhension approfondie des techniques et méthodes d'ingénierie et des compétences pratiques pour résoudre des problèmes de conception technique complexes. Des connaissances et des compétences non-techniques – sociétal, santé et sécurité, environnementales, économiques et industrielles – qui ont des implications dans la pratique de l'ingénierie sont aussi attendues tout comme une forme de conscience critique des enjeux économiques, organisationnels et managériaux (tels que gestion de projet, gestion des risques et du changement).
6. **Porter des jugements – prise de décision** : les diplômés doivent pouvoir intégrer les connaissances, gérer la complexité, formuler des jugements et prendre des décisions avec des informations et des données incomplètes ou limitées, qui incluent une réflexion sur les aspects sociaux et éthiques. Ils doivent être conscients de leurs responsabilités liées à l'application de leurs connaissances, à leur jugement et à leur prise de décision.
7. **Communication et travail d'équipe** : Le processus d'apprentissage doit permettre aux diplômés de démontrer leur capacité à utiliser diverses méthodes pour communiquer clairement et sans ambiguïté leurs conclusions, ainsi que les connaissances et les justifications qui les sous-tendent, à des spécialistes et publics non spécialistes dans

des contextes nationaux et internationaux. Ils doivent savoir évoluer efficacement dans des contextes nationaux et internationaux, en tant que membre ou chef d'une équipe qui peut être composée de différentes disciplines et niveaux, et utiliser des outils de communication virtuels.

8. ***Apprentissage tout au long de la vie*** : Les diplômés doivent pouvoir s'engager dans un apprentissage indépendant tout au long de la vie et être capables d'entreprendre des études complémentaires de manière autonome.

Comme pour le référentiel ABET, ces 8 critères renvoient à des compétences techniques, transversales et à des valeurs que les concepteurs de formation vont devoir questionner et intégrer dans leur programme de formation s'ils veulent obtenir le label EUR-ACE®. Une analyse plus détaillée met en évidence que les domaines 1, 2, 3, 4, 5 et 6 concernent plutôt les compétences techniques à intégrer dans le programme, que les compétences transversales sont présentes dans tous les domaines et enfin que quatre domaines (2, 3, 5 et 6) nécessitent que les équipes pédagogiques réfléchissent aux questions en liens avec les valeurs et l'éthique du métier d'ingénieur (Tableau 4).

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

Tableau 4. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par l'ENAAE

Domaine ENAAE	Compétences techniques	Compétences transversales	Valeurs/éthique
1 – Connaissance et compréhension	<p>Connaissances approfondies en mathématiques et dans les disciplines en lien avec leur spécialisation en ingénierie.</p> <p>Conscience critique sur leurs disciplines de spécialisation ainsi que sur le contexte multidisciplinaire plus large de l'ingénierie et des problèmes de connaissance à l'interface entre différents domaines</p> <p>Fort</p>		
2 – Analyse technique et expertise d'ingénierie	<p>Analyse des produits, processus et systèmes d'ingénierie nouveaux et complexes dans des contextes élargis ou multidisciplinaires.</p> <p>Identification formulation et résolution de problèmes d'ingénierie complexes et inconnus qui sont incomplètement définis et qui peuvent impliquer des considérations extérieures à leur domaine d'études.</p> <p>Sélection et application des méthodes les plus appropriées et pertinentes à partir des méthodes analytiques, computationnelles, expérimentales ou nouvelles et innovantes pour répondre aux problématiques techniques.</p>	<p>Identification formulation et résolution de problèmes d'ingénierie complexes qui peuvent impliquer des considérations extérieures non techniques – sociétales, santé et des contraintes sécuritaires, environnementales, économiques et industrielles.</p>	<p>Identification formulation et résolution de problèmes d'ingénierie complexes qui peuvent impliquer des considérations extérieures non techniques – sociétales, santé et des contraintes sécuritaires, environnementales, économiques et industrielles.</p>
3 – Conception technique	<p>Capacité à développer et concevoir des produits nouveaux et complexes (dispositifs, artefacts, etc.), des processus et des systèmes complexes, avec des spécifications incomplètement définies et/ou contradictoires, qui nécessitent l'intégration de connaissances issues de domaines.</p> <p>Sélection et application de méthodologies de conception appropriées.</p>	<p>Capacité à développer et concevoir des produits nouveaux et complexes (dispositifs, artefacts, etc.), des processus et des systèmes complexes, avec des spécifications incomplètement définies et/ou contradictoires, qui nécessitent l'intégration de connaissances issues de domaines non techniques – sociétaux, santé et sécurité, environnement, économie et commercial.</p> <p>Faire preuve de créativité pour développer des méthodologies de conception nouvelles et originales.</p>	<p>Capacité à développer et concevoir des produits nouveaux et complexes (dispositifs, artefacts, etc.), des processus et des systèmes complexes, avec des spécifications incomplètement définies et/ou contradictoires, qui nécessitent l'intégration de connaissances issues de domaines non techniques – sociétaux, santé et sécurité, environnement, économie et commercial.</p>
4 – Enquêtes	<p>Identification, localisation et obtention de données requises ; recherches bibliographiques, consultation et usage de manière critique des bases de données et d'autres sources d'information, pour effectuer une simulation afin de mener des enquêtes et des recherches détaillées sur des problèmes techniques complexes.</p> <p>Compétences avancées en laboratoire/atelier pour concevoir et conduire des expérimentations, les évaluer de manière critique et en tirer des conclusions.</p>	<p>Identification, localisation et obtention de données requises ; recherches bibliographiques, consultation et usage de manière critique des bases de données et d'autres sources d'information, pour effectuer une simulation afin de mener des enquêtes et des recherches détaillées sur des problèmes techniques complexes.</p> <p>Compétences avancées en laboratoire/atelier pour concevoir et conduire des expérimentations, les évaluer de manière critique et en tirer des conclusions.</p>	
5 – Pratique de l'ingénierie	<p>Compréhension approfondie des techniques et méthodes d'ingénierie et des compétences pratiques pour résoudre des problèmes de conception technique complexes.</p>	<p>Connaissances et compétences non techniques – sociétal, santé et sécurité, environnementales, économiques et industrielles – qui ont des implications dans la pratique de l'ingénierie.</p> <p>Conscience critique des enjeux économiques, organisationnels et managériaux (tels que gestion de projet, gestion des risques et du changement).</p>	<p>Connaissances et compétences non techniques – sociétal, santé et sécurité, environnementales, économiques et industrielles – qui ont des implications dans la pratique de l'ingénierie.</p> <p>Conscience critique des enjeux économiques, organisationnels et managériaux (tels que gestion de projet, gestion des risques et du changement).</p>
6 – Prise de décision	<p>Intégration des connaissances, gestion de la complexité, expression de jugements et prise de décision avec des informations et des données incomplètes ou limitées, qui incluent une réflexion sur les aspects sociaux et éthiques.</p>	<p>Intégration des connaissances, gestion de la complexité, expression de jugements et prise de décision avec des informations et des données incomplètes ou limitées, qui incluent une réflexion sur les aspects sociaux et éthiques</p>	<p>Conscience de la responsabilité des ingénieurs dans l'application de leurs connaissances, leur jugement et leur prise de décision.</p>
7 – Communication et travail d'équipe		<p>Usage de diverses méthodes pour communiquer clairement et sans ambiguïté leur conclusions, ainsi que les connaissances et les justifications qui les sous-tendent, à des spécialistes et publics non spécialistes dans des contextes nationaux et internationaux.</p> <p>Adaptation et intégration dans des contextes nationaux et internationaux, en tant que membre ou chef d'une équipe qui peut être composée de différentes disciplines et niveaux, et utiliser des outils de communication virtuels.</p>	<p>Capacité à adopter une posture éthique vis-à-vis de ses collègues.</p>
8 – Apprentissage tout au long de la vie		<p>Engagement dans un apprentissage indépendant tout au long de la vie et capacité d'entreprendre des études complémentaires de manière autonome.</p>	

Les préconisations d'ENAAE permettent de mobiliser la majeure partie des 8 compétences essentielles de l'UNESCO pour entrer dans une démarche de développement durable mais ce sont surtout les compétences telles que la résolution de problèmes complexes (Domaines 2, 3, 4, 5 et 6), la vision systémique (Domaines 2, 3, 5, 6), l'esprit critique (Domaines 3, 4, 5 et 6) et le travail en équipe et la communication (Domaine 7) qui sont clairement identifiables dans les différents domaines.

3.2.1.3 *Le référentiel de la Commission des Titres d'Ingénieur - France*

Le dernier référentiel que nous allons étudier est celui de la Commission des titres d'ingénieur (CTI) en France. La CTI [CTI, 2021] est un organisme indépendant, chargé par la loi française depuis 1934 d'évaluer toutes les formations d'ingénieur, de développer la qualité des formations de promouvoir le titre et le métier d'ingénieur en France et à l'étranger. Les missions de la CTI comprennent aujourd'hui :

1. L'évaluation périodique de toutes les formations d'ingénieurs des établissements français sur le territoire national en vue de leur accréditation à délivrer un titre d'ingénieur diplômé. Depuis 2020, la CTI est également en charge de l'évaluation des formations de Bachelor (bac+3) des écoles d'ingénieurs françaises en vue de l'attribution du grade de licence à ces diplômés d'établissement.
2. A la demande, l'évaluation de formations d'ingénieurs d'établissements étrangers.
3. La définition du profil générique de l'ingénieur de niveau master et l'élaboration des critères et procédures nécessaires à la délivrance du titre d'ingénieur et à l'accomplissement des missions de la CTI. La CTI contribue ainsi à l'évolution continue des formations d'ingénieurs et à leur adaptation aux besoins des entreprises et de la société en général.
4. La formulation d'avis sur toutes questions concernant les titres d'ingénieur diplômé.
5. Le développement d'une culture d'assurance qualité au sein des écoles françaises et de la CTI elle-même, conformément aux Standards and guidelines for quality assurance in the European higher education area (ESG). Dans ce contexte, la CTI coopère avec d'autres agences d'assurance qualité françaises et internationales, soit par des accords bilatéraux (ABET, AEQES, AAQ, Hcéres, CCN-IUT, CEFDG, CIEP, IEAQA, ...) soit dans le cadre de réseaux tels que FraQ-Sup, ECA, ENAAE, ...
6. Toutes actions qui œuvrent en faveur de la reconnaissance académique et professionnelle du titre d'ingénieur diplômé français.
7. L'évaluation de formations d'ingénieurs françaises et étrangères en vue de l'attribution de labels qualité. La CTI est membre fondateur de l'European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAAE) et délivre le label européen de qualité des formations d'ingénieurs EUR-ACE® (niveau master) de cet organisme.

Dans le cadre de l'évaluation périodique de leurs formations les établissements doivent se référer au document de référence précisant les orientations de la CTI [CTI, 2020] et suivre les recommandations de la CTI pour obtenir leur accréditation à délivrer un titre d'ingénieur. La description des acquis d'apprentissage par la CTI est articulée autour de 3 domaines qui sont ensuite déclinés en 14 compétences cibles :

A. Acquisition des connaissances scientifiques et techniques et maîtrise de leur mise en œuvre

1. La connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée
2. L'aptitude à mobiliser les ressources d'un (ou de plusieurs) champ scientifique et technique spécifique
3. La maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur : identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes, la pratique du travail collaboratif et à distance
4. La capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants
5. La capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux
6. La capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : « compétence informationnelle »

B. Adaptation aux exigences propres de l'entreprise et de la société

7. La capacité à prendre en compte les enjeux de l'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique
8. La capacité à identifier les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité
9. La capacité à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable
10. La capacité à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société

C. Prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle

11. La capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maîtrise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non-spécialistes
12. La capacité à entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux
13. La capacité à travailler en contexte international et multiculturel : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux
14. La capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), à opérer ses choix professionnels

Les 3 domaines et les 14 compétences cibles renvoient à des compétences techniques, transversales et à des valeurs mais contrairement aux référentiels ABET et ENAEE la

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

décomposition proposée par la CTI permet une forme de concentration des types de compétence par domaine (Annexe 2). Une analyse plus détaillée met en évidence que le Domaine « Connaissance scientifique et technique » et les compétences associées (1 à 6) concernent plutôt les compétences techniques à intégrer dans le programme et que les compétences transversales et les valeurs et l'éthique sont très présentes dans les deux domaines (Tableau 5).

Tableau 5. Croisement des familles de compétences ingénieur avec les objectifs de formation formulés par la CTI

Domaine CTI		Compétences techniques	Compétences transversales	Valeurs/éthique
A – Connaissance scientifique et technique	A1	Connaissance et compréhension d'un large champ de sciences fondamentales Capacité d'analyse et de synthèse		
	A2	Aptitude à mobiliser les ressources d'un (ou de plusieurs) champ scientifique et technique spécifique		
	A3	Maitrise des méthodes et des outils de l'ingénieur : identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis,		
		Utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes,		
	A4	Pratique du travail collaboratif et à distance Capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants		
	A5	Capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux	Capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux	
A6	Capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : «compétence informationnelle»	Capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : «compétence informationnelle»		
B – Adaptation aux exigences propres de l'entreprise et de la société	B7		Capacité à prendre en compte les enjeux de l'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique	
	B8		Capacité à identifier les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité	Capacité à identifier les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité
	B9		Capacité à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable	Capacité à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable
	B10		Capacité à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société	Capacité à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société
C – Prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle	C11		Capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maîtrise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non-spécialistes	Capacité à adopter une posture éthique vis-à-vis de ses collègues
	C12		Capacité à entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux	
	C13		Capacité à travailler en contexte international et multiculturel, ouverture culturelle associée	Capacité à travailler en contexte international et multiculturel, ouverture culturelle associée
			Capacité d'adaptation aux contextes internationaux	Capacité d'adaptation aux contextes internationaux
C14		Capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (perspective de formation tout au long de la vie), à opérer ses choix professionnels		

Les préconisations de la CTI permettent elles aussi de mobiliser la majeure partie des 8 compétences essentielles de l'UNESCO mais ce sont surtout les compétences telles que la vision systémique, le travail en équipe et la communication ainsi que la compétence sur le plan de la connaissance de soi qui sont clairement identifiables dans les différents domaines.

3.2.2 Référentiel adossé à une démarche de conception d'un programme de formation : l'approche CDIO (Conceive — Design — Implement — Operate)

Ce programme a été conçu et proposé par une équipe de chercheurs du MIT à la fin des années 1990. Il s'appuie sur un syllabus qui se concentre sur les compétences personnelles, interpersonnelles et de construction de systèmes, tout en conservant un espace réservé pour les fondamentaux disciplinaires appropriés à tout domaine spécifique de l'ingénierie. Ce syllabus est organisé autour de 4 éléments principaux [Crawley, 2002]:

- Les connaissances scientifiques et techniques ;
- Les compétences personnelles et professionnelles ;
- Les compétences interpersonnelles : travail en équipe et communication ;
- Les compétences liées aux métiers de l'ingénieur : Imaginer (Conceive), Concevoir (Design), Réaliser (Implement) et Exploiter (Operate) des systèmes dans leurs contextes (société civile, entreprise, marché mondialisé, etc.).

Pour les chercheurs du MIT il est nécessaire de développer simultanément chez les étudiants les connaissances scientifiques et techniques, les compétences personnelles et professionnelles et les compétences interpersonnelles pour envisager pouvoir mener à bien les activités de l'ingénieur. Ces « blocks » sont les bases sur lesquels vont pouvoir s'appuyer les compétences métiers de l'ingénieur (Figure 14).

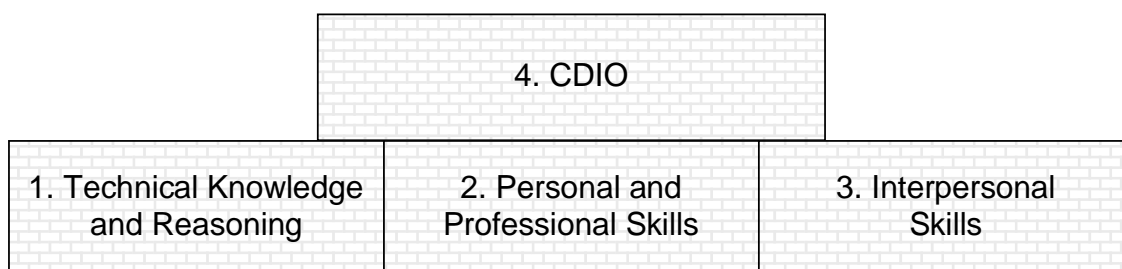


Figure 14. "Building blocks of knowledge, skills, and attitudes necessary to Conceive, Design, Implement, and Operate Systems in the Enterprise, Societal and Environmental Context (CDIO)" [Crawley, 2002]

Pour concevoir une offre de formation structurée selon cette architecture, les quatre blocks sont décomposés en 17 compétences (Figure 15) qu'il sera essentiel d'intégrer dans la formation en suivant les 12 préconisations (« standards ») et la méthode de conception d'un programme de formation définies par CDIO (Figure 16) :

- **Standard 1 : Le contexte d'apprentissage**
Le développement et le déploiement du cycle de vie des produits, des processus et des systèmes (imaginer, concevoir, réaliser et exploiter) constituant le contexte de la formation en ingénierie.
- **Standard 2 : les objectifs d'apprentissage**
Les objectifs d'apprentissage doivent être spécifiques et détaillés pour atteindre les compétences personnelles et interpersonnelles, les compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes, les connaissances disciplinaires. Ils doivent être conformes aux objectifs du programme, se baser sur la taxonomie de Bloom et être validés par les parties prenantes du programme.

- **Standard 3 : un curriculum intégré**
Un curriculum intégré doit comprendre des expériences d'apprentissage qui mènent à l'acquisition de compétences personnelles et interpersonnelles, ainsi que de compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes (règle 2), associées à l'apprentissage de connaissances disciplinaires et à leur application dans l'ingénierie professionnelle.
- **Standard 4 : Introduction au métier d'ingénieur**
Le cours d'introduction, généralement l'un des premiers cours obligatoires d'un programme, fournit un cadre pour la pratique de l'ingénierie. Ce cadre est un aperçu général des tâches et des responsabilités d'un ingénieur, ainsi que de l'utilisation des connaissances disciplinaires dans l'exécution de ces tâches.
- **Standard 5 : Expérimentation de la conception et de la réalisation**
Le programme doit comprendre au moins deux expériences de conception-mise en œuvre, dont une au niveau de base et une à un niveau avancé. Les étudiants développent des compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes, ainsi que la capacité d'utiliser leurs compétences techniques, dans des expériences de conception-mise en œuvre intégrées au programme.
- **Standard 6 : Les espaces de travail**
Prévoir des espaces de travail et laboratoires d'ingénierie qui soutiennent et encouragent l'apprentissage pratique de la construction de produits, de processus et de systèmes, de connaissances disciplinaires et d'apprentissage social.
- **Standard 7 : Expérience d'apprentissage intégrée**
Les expériences d'apprentissage intégrées sont des approches pédagogiques qui favorisent l'apprentissage des connaissances disciplinaires en même temps que les compétences personnelles et interpersonnelles et les compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes.
- **Standard 8 : Pédagogie active**
Favoriser les méthodes d'apprentissage actif permet d'engager directement les élèves dans des activités de réflexion et de résolution de problèmes. L'accent est moins mis sur la transmission passive d'informations et davantage sur la participation des élèves à la manipulation, l'application, l'analyse et l'évaluation des idées.
- **Standard 9 : Renforcement des compétences professorales**
Favoriser les actions qui renforcent les compétences du corps professoral dans les compétences personnelles et interpersonnelles, et les compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes.
- **Standard 10 : Renforcement des compétences pédagogiques du corps professoral**
Favoriser les actions qui améliorent la compétence du corps professoral dans la réalisation d'expériences d'apprentissage intégrées, dans l'utilisation de méthodes d'apprentissage actif et dans l'évaluation de l'apprentissage des étudiants.

- **Standard 11 : Évaluation des apprentissages**

Prévoir l'évaluation de l'apprentissage des élèves en matière de compétences personnelles et interpersonnelles, de compétences en matière de création de produits, de processus et de systèmes, ainsi que de connaissances disciplinaires.

- **Standard 12 : Évaluation de l'offre de formation**

Prévoir un outil qui évalue les programmes par rapport à ces douze règles et fournit des commentaires aux étudiants, aux professeurs et aux autres parties prenantes à des fins d'amélioration continue.

<p>1 Technical Knowledge and Reasoning</p> <p>1.1 Knowledge of underlying science</p> <p>1.2 Core engineering fundamental knowledge</p> <p>1.3 Advanced engineering fundamental knowledge</p> <p>2 Personal and Professional Skills and Attributes</p> <p>2.1 Engineering reasoning and problem solving</p> <p>2.2 Experimentation and knowledge discovery</p> <p>2.4 System thinking</p> <p>2.5 Personal skills and attributes</p> <p>2.6 Professional skills and attributess</p>	<p>3 Interpersonal Skills and Attributes: Teamwork and Communication</p> <p>3.1 Multi-disciplinary teamwork</p> <p>3.2 Communications</p> <p>3.3 Communications in foreign languages</p> <p>4 Conceiving, Designing, Implementing and Operating Systems in the Enterprise and Societal Context</p> <p>4.1 External and societal context</p> <p>4.2 Enterprise and business context</p> <p>4.3 Conceiving and engineering systems</p> <p>4.4 Designing</p> <p>4.5 Implementing</p> <p>4.6 Operating</p>
--	--

Figure 15. Les 17 compétences essentielles identifiées dans le cadre de l'approche CDIO

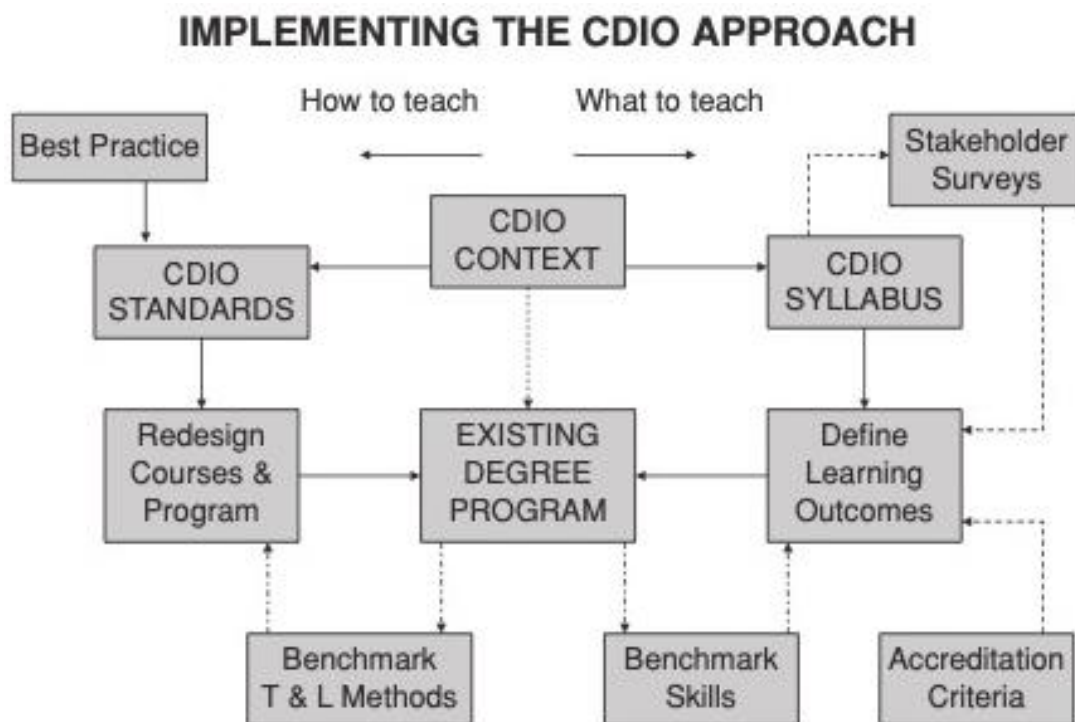


Figure 16. Approche CDIO pour concevoir un programme d'enseignement [Crawley et al., 2014]

3.2.3 Synthèse des compétences transversales pour la durabilité dans les référentiels de compétences ABET, ENAEE, CTI et CDIO

Une synthèse des référentiels non adossés à une démarche de conception d'un programme de formation (ABET, ENAEE et CTI) montre que les connaissances et compétences techniques, les compétences transversales, les valeurs et l'éthique sont présentes à différents degrés dans chacun. Ceci montre bien que les organismes en charge de proposer des architectures de programmes de formation des ingénieurs insistent sur la nécessité d'acquérir des connaissances dans le domaine spécifique de sa formation mais également de développer des compétences techniques et transversales permettant de répondre aux futurs enjeux de notre société. Si nous poussons l'analyse un peu plus en profondeur, nous remarquons que sur les 8 compétences essentielles de l'UNESCO pour entrer dans une démarche de développement durable (méta compétences pour le développement durable) certaines se trouvent dans tous les référentiels (vision systémique ou le travail en équipe et la collaboration par exemple) mais que d'autres sont peu présentes (pensée critique ou connaissance personnelle) voir totalement absentes (anticipation et vision stratégique) (Tableau 6)²³.

Tableau 6. Synthèse de la référence ou non des compétences essentielles de l'UNESCO pour la durabilité dans les différents référentiels de compétences

Compétences essentielles de l'UNESCO Méta compétence pour le développement durable	ABET	ENAEE	CTI
1. Compétence sur le plan de l'analyse systémique			
2. Compétence sur le plan de l'anticipation			
3. Compétence sur le plan normatif (normes, valeurs, éthique)			
4. Compétence sur le plan stratégique			
5. Compétence sur le plan de la collaboration			
6. Compétence sur le plan de la réflexion critique			
7. Compétence sur le plan de la connaissance de soi			
8. Compétence sur le plan de la résolution intégrée des problèmes complexes			

Comme nous le verrons plus en avant dans ce chapitre, les différentes études et analyses des curricula de formation dans le supérieur montrent que même si les compétences essentielles sont parfois mentionnées, leur importance dans les programmes reste faible. De plus, il n'est souvent fait aucune mention relativement à la maîtrise de ces compétences, ce qui est un frein à leur intégration par les enseignants. En effet, comme il est souvent difficile pour les enseignants de comprendre ce qui est attendu en termes de contenus et/ou de modalités

²³ Légende du tableau : a) case verte : compétence présente dans le référentiel, b) case grise : compétence non présente dans le référentiel.

pédagogiques permettant la validation ou non de ces compétences, ils font le choix de ne pas les insérer explicitement dans les programmes de formation.

Si nous considérons maintenant le référentiel CDIO, la cartographie des compétences préconisées par le CDIO et celles des différents organismes d'accréditation montrent de fortes similitudes (Tableau 7). De plus le processus de conception du programme de formation de CDIO n'étant pas dédié, il peut tout à fait répondre aux exigences des autres organismes d'accréditation et donc être utilisé pour mettre en œuvre les référentiels de ces organismes.

Tableau 7. Comparaison du syllabus CDIO avec les référentiels ABET, ENAEE et CTI

	ABET	ENAEE	CTI		
CDIO Syllabus	1 CONNAISSANCES DISCIPLINAIRES ET RASONNEMENT	1.1 CONNAISSANCE DES SCIENCES DE BASE, Y COMPRIS MATHÉMATIQUES ET AUTRES DISCIPLINES	1	1	A1
		1.2 CONNAISSANCE DES PRINCIPES FONDAMENTAUX D'INGÉNIÉRIE	1	1	A2
		1.3 CONNAISSANCES AVANCÉES EN INGÉNIÉRIE : MÉTHODES ET OUTILS	2	3/5	A3
	2 « COMPÉTENCES » PROFESSIONNELLES ET PERSONNELLES	2.1 RAISONNEMENT ANALYTIQUE ET RÉOLUTION DE PROBLÈMES	2	2	A3
		2.2 MÉTHODES SCIENTIFIQUES : EXPERIMENTATION, ENQUETE ET INITIATION A LA RECHERCHE	6	4	A5
		2.3 PENSÉE SYSTÉMIQUE	4	3	/
		2.4 ATTITUDES ET APPRENTISSAGES	7	8	C4
		2.5 ÉTHIQUE, DÉONTOLOGIE ET AUTRES RESPONSABILITÉS	4	6	B2
	3 « COMPÉTENCES » INTERPERSONNELLES : TRAVAIL D'ÉQUIPE ET COMMUNICATION	3.1 TRAVAIL D'ÉQUIPE	5	7	C1
		3.2 COMMUNICATION	3	7	C1
		3.3 COMMUNICATION EN LANGUES ÉTRANGÈRES	/	7	C3
	4 LES ACTIVITÉS DE L'INGÉNIEUR DANS L'ENTREPRISE ET DANS LE CONTEXTE SOCIÉTAL	4.1 CONTEXTE EXTERNE, SOCIÉTAL ET ENVIRONNEMENTAL	4	2/3/4/5	B2/B3
		4.2 CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT DE L'ENTREPRISE	/	5/6	B4
		4.3 INGÉNIÉRIE DES SYSTÈMES : CONCEPTION ET GESTION	2	3/5	A4
		4.4 CONCEVOIR	2	3	A4
4.5 RÉALISER		2	5	A4	
4.6 EXPLOITER		2	5	A5	
4.7 MENER DES PROJETS D'INGÉNIÉRIE INNOVANTS		/	4	C2	
4.8 ENTREPREUNARIAT		/	/	C2	

Au-delà de la comparaison entre les référentiels de compétences nous avons aussi étudié l'approche de conception d'un programme de formation préconisée par CDIO pour voir si celle-ci se rapprochait de l'approche par compétence et l'approche programme (Tableau 8). L'objectif de notre analyse est d'évaluer si CDIO préconise une approche « classique » de conception d'une formation (Figure 6) ou une approche plus intégrée (approches par compétence et programme) (Figure 9) et donc si cette approche favorise ou non l'intégration et la mise en œuvre réelle de compétences transversales. Ainsi, nous serons en mesure de tirer des conclusions quant à la pertinence globale de CDIO dans le cadre de la conception et la mise en œuvre d'une formation en ingénierie durable.

Tableau 8. Tableau comparatif de l'approche CDIO et des approches programme et par compétence

Standard CDIO	Principe de l'approche programme (AP) /approche par compétences (APC)
1- Contexte	Ancrer les apprentissages dans des réalités concrètes [Poumay <i>et al.</i> , 2017] / APC
2- Objectifs d'apprentissage	Définir des apprentissages critiques [Poumay <i>et al.</i> , 2017] / APC
3- Curriculum intégré	Concevoir des parcours avec des complexités croissantes – prôner un approche curriculaire intégrée [Lenoir, 2002] / AP
4- Module introduction au métier d'ingénieur	N/A
5- Favoriser l'expérimentation	N/A
6- Les espaces de travail	N/A
7- Apprentissage intégré	Savoir résoudre des problèmes pluridisciplinaires – Interrelation entre les enseignements – décloisonnement des disciplines [Lenoir, 1998], [Basque <i>et al.</i> , 2009] / AP
8- Pédagogie active	Diversifier les formats pédagogiques [Chauvigné <i>et al.</i> , 2010] / APC
9- Développer les compétences des professeurs	Accompagner les acteurs [Bertrand, 2014] [Prégent <i>et al.</i> , 2009] / AP
10- Développer les compétences pédagogiques des professeurs	Avoir une vision partagée des programmes [Loisy, 2018] / AP
11- Évaluation des apprentissages	Mettre en place des portfolios, définir des trajectoires de développement [Tardif, 2006] / APC
12- Évaluation de l'offre de formation	Amélioration continue des dispositifs de formation [Bertrand, 2014] / AP

La comparaison entre l'approche CDIO et les approches programme et par compétences montre qu'il y a de fortes similitudes. L'approche CDIO propose donc une démarche intégrée de conception d'un programme de formation ce qui garantit théoriquement que les compétences du référentiel CDIO soient effectivement présentes dans le programme et travailler tout de long du cursus des étudiants jusqu'à leur diplomation. Dans la pratique, il n'est pas évident de mettre en place l'ensemble des préconisations présentes dans les

standards. Les standards 7, 8 et 12 par exemple ne sont pas simples à appréhender par les équipes qui n'ont pas forcément l'habitude de proposer des expérimentations d'apprentissage intégrées reposant sur des pédagogies actives. Les enseignants sont donc potentiellement en difficulté car une telle modalité pédagogique leur demande de sortir de leurs champs de compétences principales en ne focalisant plus seulement sur l'apprentissage des connaissances et compétences techniques. La prise en compte des compétences transversales dans les programmes et dispositifs de formation peut parfois paraître abstraite pour les enseignants. Au-delà de la difficulté d'intégration des compétences transversales dans les programmes et dans les cours, c'est aussi la question de leur évaluation qui est posée. C'est en ce sens que le standard 12 est lui aussi complexe à mettre en place pour des enseignants qui ne savent pas comment évaluer une compétence personnelle ou interpersonnelle. Malgré le fait que l'approche CDIO semble tout à fait pertinente pour la conception, la mise en place et le suivi d'une offre de formation intégrant les multiples compétences liées au DD, il est à noter que cette méthode est très peu présente dans le contexte français. En effet, à ce jour seulement deux écoles d'ingénieurs se sont appuyées sur cette méthode pour construire leur offre de formation : le CESI et l'IMT Atlantique.

4 Problématique de l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Même s'il n'est pas évident pour les établissements et les équipes pédagogiques de s'approprier, de mettre en œuvre les référentiels ou les standards et de les percevoir comme des leviers de transformation de leurs formations, parfois très génériques, il serait trivial de considérer que la non intégration de l'ingénierie durable dans les formations est le résultat de cette non appropriation et du caractère trop générique des référentiels. Au-delà de la problématique de la mise en œuvre des standards, c'est aussi la question des habitudes de travail des équipes lors de la conception d'une offre de formation, celles des ressources à disposition des enseignants, etc. qui peuvent être posées. Ce sont à ces différentes questions que des chercheurs chiliens et brésiliens ont tenté de répondre en 2018 dans une étude rigoureuse de la littérature relative aux difficultés liées à la mise en œuvre ou l'insertion de développement durable dans les formations technologiques [Rampasso *et al.*, 2018]. L'équipe de Rampasso a recensé 11 difficultés majeures (Tableau 9). Parmi les références citées dans l'article et sur lesquelles les auteurs s'appuient pour identifier les obstacles de cette mise en œuvre aucune n'est française.

Tableau 9. Difficultés liées à l'intégration du développement durable dans les cursus technologiques [Rampasso et al., 2018]

Difficultés	Référence
1 - Mettre en œuvre la transdisciplinarité dans l'enseignement de la durabilité	(Ashford, 2004; Desha and Hargroves, 2010; Hopkins and James, 2010; Schneider et al., 2008; Shields et al., 2014)
2 - De nombreux professionnels de l'éducation estiment que les cursus des cours d'ingénierie sont surchargés et ne laissent pas la place à un ajout de la durabilité	(Crofton, 2000; Guerra, 2017; Hopkinson and James, 2010; Schneider et al., 2008; Shields et al., 2014; Sivapalan et al., 2017)
3 - Manque de ressource didactique adéquate et constamment mis à jour qui envisage tous les volets de la durabilité pour les cours d'ingénierie	(Fenner et al., 2005; Nowotny et al., 2018)
4 - Difficulté à débattre des aspects économiques et sociaux dans les disciplines de l'ingénierie, la durabilité présentant généralement une orientation très environnementale	(Edvardsson Björnberg et al., 2015; Guerra, 2017; Hanning et al., 2012; Hopkinson and James, 2010; Schneider et al., 2008; Sivapalan et al., 2017)
5 - Ecart entre ce qui est enseigné dans les cours d'ingénierie sur la durabilité et les besoins réels du marché	(Hanning et al., 2012; Sharma et al., 2017; Sivapalan et al., 2017)
6 - Trouver des enseignants compétents et volontaires pour les besoins actuels liés à l'enseignement de la durabilité	(Iyer-Raniga and Andamon, 2016; Martins et al., 2006; Mulder et al., 2012)
7 - Manque d'intérêt des étudiants de premier cycle en génie pour les sujets liés à la durabilité	(Biswas, 2012; Rydhagen and Dackman, 2011)
8 - Manque de motivation des enseignants par rapport à l'insertion de la durabilité dans le cursus d'ingénierie	(Bryce et al., 2004; Edvardsson Björnberg et al., 2015; Fenner et al., 2005; Guerra, 2017; Iyer-Raniga and Andamon, 2016; Mulder, 2017; Mulder et al., 2012; Rydhagen and Dackman, 2011; Schneider et al., 2008; Sivapalan et al., 2017)
9 - Manque d'installations et / ou de ressources adéquates pour développer des activités associées à la durabilité	(Desha and Hargroves, 2010; Iyer-Raniga and Andamon, 2016; Rydhagen and Dackman, 2011; Sivapalan et al., 2017)
10 - Difficulté à changer ou à mettre en œuvre de nouvelles pratiques pour l'enseignement de la durabilité en raison de la rigidité des structures institutionnelles	(Iyer-Raniga and Andamon, 2016; Sivapalan et al., 2017)
11 - Manque de soutien de la direction de l'université et / ou mise en place d'un vaste programme visant à promouvoir davantage l'enseignement de la durabilité	(Bryce et al., 2004; Holgaard et al., 2016; Hopkinson and James, 2010; Kamp, 2006; Rydhagen and Dackman, 2011; Sivapalan et al., 2017)

Pour obtenir une lecture plus fine des difficultés dans le contexte français nous avons croisé cette étude avec celles que nous avons pu identifier comme étant focalisées sur la France [Perpignan et al., 2017]. Le nombre d'études sur le cas de la France étant très faible (seuls les travaux de Lourdel [Lourdel, 2005] ont retenu notre attention) nous avons complété notre approche par deux enquêtes et des entretiens auprès de membres de la communauté S-

Mart²⁴. La première enquête visait à identifier les grandes typologies d'obstacles présents en France et évaluer si les difficultés définies par Rampasso étaient transposables à la France. Nous avons complété cette enquête par des entretiens menés auprès des répondants qui souhaitaient enrichir leurs réponses aux questions. De plus, les travaux de Rampasso ayant mis en évidence la problématique spécifique de l'accès aux ressources (pédagogiques, matérielles, etc.), nous avons focalisé notre seconde enquête plus spécifiquement sur la question des ressources. Cette enquête a été menée dans le cadre du projet ANR ET-LIOS²⁵. Les questionnaires des deux enquêtes et les résultats obtenus sont en Annexe 3 et Annexe 4.

Notre synthèse des réponses aux enquêtes met en évidence que la majorité des difficultés repérées par Rampasso au niveau international sont également présentes en France (Tableau 10). Les entretiens nous ont permis d'affiner ces réponses et notamment de préciser la nature de certains obstacles. Ainsi, les personnes interviewées nous ont indiqué que les difficultés sont très souvent liées à des changements organisationnels perçus comme trop importants et qui ne s'opèrent donc pas, qu'ils soient pédagogiques (au sein des équipes enseignantes) ou institutionnels (au niveau de la direction des établissements). Par exemple, les évolutions des méthodes pédagogiques ou de la vision du cadre de référence se révèlent délicates pour les enseignants (difficultés 1,2,6 et 8 ; Tableau 10), tout comme la modification des structures et des procédures administratives pour les établissements du supérieur (difficulté 10 ; Tableau 10). Elles nous ont aussi indiqué qu'il y avait parfois une confusion entre organismes d'accréditation et méthode d'élaboration d'offres de formations. Pour de nombreuses institutions le simple fait de reprendre les items définis par les organismes d'accréditation et d'y associer les modules existants (parfois peu ou pas révisés entre 2 accréditations) permet de répondre à la commande. Cette façon de faire conduit à ce que les compétences transversales ne sont pas (ou mal) intégrées aux enseignements. Nos interlocuteurs ont aussi noté que les recherches sur le thème de « l'engineering education » sont très présentes dans de nombreux pays à travers le monde mais ont du mal à trouver leur place en France. Ainsi, les quelques recherches qui sont menées en France sur les questions relatives aux curricula et aux méthodes pédagogiques dans les formations technologiques et d'ingénierie ou la mise en œuvre de l'approche par compétences dans le supérieur sont dans une « zone grise » de la recherche française. Sont-elles à associer aux Sciences de l'éducation (70^{ième} section CNU) ? Aux sections CNU des « génies » (60^{ième}, 61^{ième}, 62^{ième} ou 63^{ième} sections par exemple) ? Doivent-elles concerner quasiment toutes les sections CNU puisqu'elles insistent sur la nécessaire transversalité des approches ? Autant de questions qui aujourd'hui demeurent sans réellement de réponses, ce qui ne permet pas d'avoir une assise et une visibilité nationale dans la communauté scientifique aussi solides qu'il le faudrait pour promouvoir et accompagner l'évolution d'un modèle de formation dans lequel la maîtrise des savoirs est prédominante vers un modèle intégrant plus ostensiblement des compétences transversales aux enseignements disciplinaires.

Enfin, pour ce qui concerne l'accès aux ressources, 95% des personnes qui ont répondu au questionnaire envoyé dans le cadre du projet ET-LIOS considèrent qu'ils manquent de formations et de ressources pédagogiques permettant d'aborder la vision systémique, les























²⁴ Réseau S-mart : <https://s-mart.fr/>

²⁵ Le projet ET-LIOS bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du Programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-20-NCUN-0009. <https://s-mart.fr/hybridation-formations-enseignement-superieur/>

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

aspects historiques, éthiques et techniques liés au développement durable (difficulté 3 et 9, Tableau 10). Plus de 80% des répondants sont demandeurs de formations pour pouvoir intégrer de façon plus fine la durabilité dans leurs enseignements. La formation des enseignants est donc aussi un enjeu majeur pour permettre de proposer un enseignement en ingénierie durable pertinent et adapté aux besoins des étudiants et des entreprises. L'objectif de la formation des enseignants n'est pas de leur donner un « kit prêt à l'emploi » de connaissances ou de cours mais bien de les outiller pour leur permettre ensuite de concevoir des séquences et séances de cours au plus près de leur réalité, et du niveau et des attentes des étudiants.

Tableau 10. Synthèse de notre enquête sur difficultés liées à l'intégration du développement durable dans les cursus technologiques en France

Difficultés	Contexte français		
1 - Mettre en œuvre la transdisciplinarité dans l'enseignement de la durabilité			Difficulté majoritairement pointée par les répondants
2 - De nombreux professionnels de l'éducation estiment que les cursus des cours d'ingénierie sont surchargés et ne laissent pas la place à un ajout de la durabilité			
3 - Manque de ressource didactique adéquate et constamment mis à jour qui envisage tous les volets de la durabilité pour les cours d'ingénierie			
4 - Difficulté à débattre des aspects économiques et sociaux dans les disciplines de l'ingénierie, la durabilité présentant généralement une orientation très environnementale			
5 - Ecart entre ce qui est enseigné dans les cours d'ingénierie sur la durabilité et les besoins réels du marché			Avis partagé
6 - Trouver des enseignants compétents et volontaires pour les besoins actuels liés à l'enseignement de la durabilité			
7 - Manque d'intérêt des étudiants de premier cycle en génie pour les sujets liés à la durabilité			
8 - Manque de motivation des enseignants par rapport à l'insertion de la durabilité dans le cursus d'ingénierie			
9 - Manque d'installations et / ou de ressources adéquates pour développer des activités associées à la durabilité			
10 - Difficulté à changer ou à mettre en œuvre de nouvelles pratiques pour l'enseignement de la durabilité en raison de la rigidité des structures institutionnelles			
11 - Manque de soutien de la direction de l'université et / ou mise en place d'un vaste programme visant à promouvoir davantage l'enseignement de la durabilité			

Les obstacles principaux identifiés relevant du corps enseignant et des institutions, il est donc pertinent d'agir sur les deux niveaux en traitant des objectifs de formation pédagogiques et des moyens mis en œuvre pour les atteindre mais également de l'acceptation de nouveaux cadres pour les formations et de nouvelles façons de faire par l'affirmation d'une forte volonté d'évoluer et par la mise en place d'un accompagnement par les institutions. Pour Morin « *on ne peut pas réformer l'institution sans avoir au préalable réformé les esprits, mais on ne peut pas réformer les esprits si l'on n'a pas au préalable réformé les institutions* » [Morin, 2011]. La société évolue et la prise en compte des problèmes environnementaux devient une préoccupation majeure pour une grande partie de la population, ainsi, même s'ils ne sont pas complètement « réformés », nous pouvons considérer que les esprits commencent à être prêts pour viser de nouveaux objectifs de formation et accepter de nouveaux modèles d'apprentissage. Le « Manifeste pour un réveil écologique » [Manifeste, 2018] met par exemple en évidence que les étudiants sont de plus en plus demandeurs de formations au développement durable et choisissent de se regrouper en associations dans et entre écoles d'ingénieurs et universités pour réclamer des formations leur permettant d'appréhender la transition et de le mettre en œuvre chez leur futur employeur. L'une des critiques principales de nos modes de fonctionnement actuels de formation concerne l'approche trop disciplinaire qui favorise un mode de connaissances parcellarisées et ne permet pas d'appréhender et de répondre correctement aux enjeux de la transition et la durabilité. Les étudiants et la majeure partie des équipes de direction et pédagogiques dans les établissements ont compris que les futurs diplômés et en particulier les ingénieurs doivent acquérir des connaissances scientifiques et techniques fortes mais que s'ils ne les complètent pas par des compétences plus larges ils n'auront qu'une vision unidimensionnelle de problèmes qui sont multidimensionnels. Michel Serres pointait déjà ce fait dans la préface du Tiers Instruct en 1991 : « *il faut que nos compétences soient interdisciplinaires, faute de quoi nul ne comprendra ni ne dominera les solutions à proposer* » [Serres, 1991]. Les leviers vont donc concerner l'évolutions des mentalités et des esprits mais aussi l'évolutions des modes de fonctionnement et des habitudes de travail dans les établissements du supérieur.

Pour ce qui concerne l'évolution des mentalités, le levier principal est la transformation progressive et en profondeur des attitudes et des postures de tout à chacun qui doit être un objectif principal dans un programme de formation initiale ou de perfectionnement professionnel pour préparer au développement durable [Filho, 2011]. Les éléments clés de cette transformation sont (adapté de [Filho, 2011]) :

1. La Connaissance : informer sur la signification de la durabilité et ses implications,
2. La Communication : favoriser une réceptivité aux enjeux de durabilité,
3. L'Esprit critique : avoir une expérience antérieure des problèmes environnementaux et sociaux facilite la compréhension du rôle de la durabilité,
4. La Pensée complexe : permettre une vision intégrée des éléments environnementaux, politiques et économiques permet une perception plus large de la durabilité,
5. Les Valeurs : en raison de son degré élevé de complexité, les valeurs d'un individu déterminent souvent si ses attitudes sont favorables à la durabilité,
6. La Vision holistique : la durabilité n'est pas seulement liée aux composants écologiques en soi mais implique également des éléments tels que l'économie, la politique et les questions sociales. Cependant, les liens avec ces derniers sont souvent ignorés par les universités,

7. La Persévérance : la durabilité ne relève pas du court terme ou d'efforts isolés. Pour l'atteindre il faut des efforts continus à long terme.

Les formations technologiques et en ingénierie du supérieur doivent être en mesure d'intégrer et de développer les éléments clés de l'évolution des mentalités tout en assurant toujours leur mission de formation des étudiants aux connaissances, compétences scientifiques et techniques qui sont l'essence de leur métier. Tout l'enjeu va être d'intégrer l'ingénierie durable dans les cursus non pas comme un enseignement supplémentaire ou la mise en œuvre d'une boîte à outils mais bien une approche permettant d'interconnecter les problèmes de durabilités aux problèmes techniques. Les établissements du supérieur doivent aller au-delà de « *l'apprentissage de la durabilité* » en créant une prise de conscience de « *l'apprentissage pour la durabilité* » où les étudiants acquièrent des aptitudes et des compétences pour agir et réfléchir de manière critique sur les connaissances acquises [Sterling, 2004]. C'est d'autant plus vrai que les établissements scolaires (qu'ils soient du primaire, du secondaire ou du supérieur) ont un double rôle à jouer :

1. Améliorer la sensibilisation et la conscience des enjeux au sein des générations futures peut modifier le monde de demain, notamment influencer sur les changements climatiques qui peuvent contribuer à une forme d'instabilité institutionnelle [Puteh *et al.*, 2014], [Malmquist *et al.*, 2021].
2. S'appuyer sur les effets collatéraux des interactions enseignant-élève pour informer les personnes dans le cercle d'influence des formés, les parents notamment. Les parents peuvent bénéficier des connaissances des élèves et des enseignants mais aussi être intégrés dans le processus éducatif pour élever la sensibilisation et le niveau d'éducation de l'ensemble de la société [Zhong *et al.*, 2021].

Les leviers les plus importants pour atteindre cet objectif sont la formation et l'accompagnement méthodologique avec des ressources supports pour les enseignants qui seront alors en mesure d'assurer la sensibilisation et le transfert des connaissances en valorisant les échanges délibératifs, les contacts et les interactions avec des scientifiques, le raisonnement sur les controverses et les « fake news » par la mise en œuvre de projets [Liu *et al.*, 2015], [Monroe *et al.*, 2019]. Les enseignants ont un rôle clé car les étudiants sont souvent ouverts d'esprit et intéressés par les aspects scientifiques, sociaux et éthiques du développement durable et du changement climatique et c'est souvent aux enseignants de répondre à leurs questionnements, ce qui peut être un défi pour eux [Tolppanen & Aksela, 2018]. Ainsi, la formation initiale des enseignants et leur accès tout au long de leur carrière à des méthodes de travail, des ressources et des outils leur permettant de se former et de progresser sont des éléments cruciaux pour améliorer la qualité de la prise en compte des enjeux de durabilité dans les formations [Bürgener & Barth, 2018].

Notre analyse de l'évolution des besoins en termes de connaissances et surtout de compétences dans les formations technologiques et en ingénierie durable, et notre étude des démarches de conception des programmes de formation et des référentiels ont mis en évidence les limites du système actuel. Ainsi, sur la base de la méthodologie de conception d'une offre de formation en 6 étapes proposée par Poumay [Poumay *et al.*, 2017]²⁶, nous

²⁶ Les 6 étapes pour la conception d'une offre de formation selon Poumay [Poumay *et al.*, 2017] :

1. Définir les compétences (ou savoir-agir complexes) à développer par les étudiants au fil du programme,
2. Définir les composantes essentielles de la compétence,
3. Définir des situations professionnelles (contexte),
4. Définir des niveaux de développement de la compétence,

pouvons dire que pour que l'ingénierie durable soit intégrée dans les formations technologiques du supérieur (Figure 17) :

1. L'ingénierie durable doit être un enseignement intégré aux autres et non un enseignement supplémentaire.
2. La définition des connaissances et des compétences « génériques » associées à l'ingénierie durable doit se faire sur la base des référentiels de compétences existants (ABET, ENAEE, CTI, CDIO, etc.) et idéalement en adoptant une lecture croisée de ceux-ci pour enrichir le programme en s'appuyant sur leur complémentarité.
3. La spécification des connaissances et des compétences associées à l'ingénierie durable doit se faire en s'appuyant sur les référentiels d'activités pour correspondre à des besoins et des attendus de la société, des entreprises, du marché de l'emploi, etc.
4. La définition et la spécification des connaissances et des compétences par le biais des référentiels de compétences et des référentiels d'activités doivent être complétées et enrichies avec la définition précise des compétences attendues en fonction des spécificités de l'établissement et des équipes enseignantes en place. Ceci correspond à une phase d'appropriation et d'adaptation des référentiels au contexte de l'établissement.
5. Les compétences attendues étant identifiées, les blocs de compétences et les stratégies d'apprentissage permettant d'atteindre les niveaux de compétences attendus doivent être définis (s'appuyer sur l'approche par compétence et l'approche programme).
6. Les parcours et les contenus de formation doivent être conçus sur la base des blocs de compétences et des stratégies d'apprentissage puis mis en œuvre et évalués.

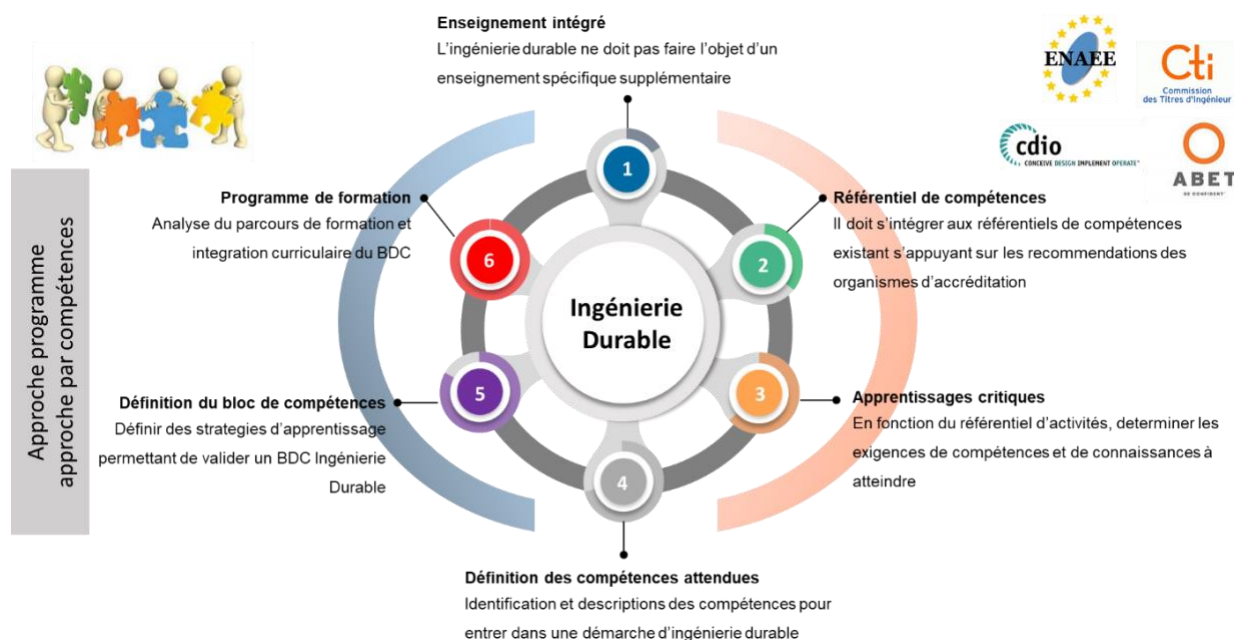


Figure 17. Principes et démarche pour l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Au-delà des principes et de la démarche pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur, la problématique et l'enjeu sont de pouvoir faire en sorte qu'ils

5. Définir les apprentissages critiques à maîtriser pour atteindre un niveau de compétence,
6. Définir les ressources qui seront utiles au développement de la compétence.

Chapitre 2. Savoirs, compétences, objectifs de formation : une pédagogie à repenser

soient mis en œuvre dans les établissements. Nous allons donc présenter dans le chapitre suivant les modalités pour que les établissements et les équipes enseignantes puissent s'approprier nos propositions et les opérationnaliser.

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

1 Introduction

Dans les chapitres précédents nous avons établi qu'il devient nécessaire d'intégrer des éléments d'ingénierie soutenable dans les formations technologiques post-bac pour répondre aux besoins des entreprises qui cherchent à employer des techniciens et des ingénieurs formés aux enjeux et aux problématiques liées au développement durable. Nous avons également vu qu'au cours de leur scolarité au primaire et au secondaire, les étudiants ont pour nombre d'entre eux reçu des éléments de formation relatifs au développement durable mais que :

- Le niveau de connaissances des étudiants post-bac sur ces thématiques est très souvent peu évalué ce qui ne permet pas aux établissements du supérieur d'avoir une vision claire de ce que les étudiants savent en entrant dans le supérieur,
- Les connaissances enseignées le sont de façon parcellaire et parfois décousue au cours de leur scolarité et les étudiants n'ont pas la capacité, ni le réflexe de les réutiliser et les mobiliser dans le cadre de leur formation dans le supérieur,
- Le lien entre « développement durable » et « technologie » au-delà des enjeux environnementaux auxquels ils ont été parfois sensibilisés (souvent énergétiques ou en lien avec des choix de matériaux) est rarement fait et conduit à ce que les étudiants n'aient qu'une vision limitée des enjeux et des problématiques de l'ingénierie durable,
- Leur représentation de ce qu'est le développement durable est parfois simpliste voire erronée. Leur connaissance se construit souvent avec les médias qui peuvent parfois façonner de fausses représentations dans la population avec des informations inexactes, tronquées ou des raccourcis trompeurs.

Les établissements du supérieur doivent donc se doter d'outils pour mettre en évidence les représentations et évaluer les connaissances relatives au développement durable chez les étudiants à leur entrée dans le supérieur (le Sulitest²⁷ peut par exemple être utilisé). Cet état des lieux donnera une image des valeurs, méta compétences et compétences techniques et transversales déjà présentes chez les étudiants. Il sera alors plus aisé de développer des formations s'appuyant sur des curricula intégrant des connaissances et des compétences liées au développement durable dans les disciplines scientifiques et technologiques et ayant un niveau de réponse adapté au niveau de connaissance des étudiants. Ces formations doivent être conçues suivant les principes pour l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur (Figure 17), notamment :

- Dans le programme de formation, l'ingénierie durable ne doit pas se concevoir comme un enseignement supplémentaire se juxtaposant à l'existant mais doit s'intégrer aux enseignements [Lambrechts et al, 2013],
- Le programme doit favoriser une approche par compétence [Segalàs Coral, 2009],

²⁷ <https://www.sulitest.org/fr/>

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

- Le programme doit combiner des méta compétence, avec des compétences transversales et des compétences techniques en s'appuyant sur les valeurs des étudiants [Perpignan *et al.*, 2020].

Pour permettre aux futurs étudiants d'acquérir ces nouvelles compétences, il faut que les établissements, les équipes pédagogiques et les enseignants puissent s'appuyer sur un cadre de référence des compétences en ingénierie durable, qui sera un socle commun de connaissances et de compétences à intégrer dans les différents parcours de formations technologiques. Ce cadre doit être assez précis pour intégrer l'ensemble des compétences en ingénierie durable mais aussi assez large pour être adaptable en fonction des profils de diplômés / professionnels souhaités. Une méthodologie pour la mise en œuvre et l'opérationnalisation de ce cadre doit lui être associée pour que les équipes pédagogiques et les enseignants puissent se l'approprier. L'objectif est que ce cadre et la méthodologie soient des supports pour accompagner les établissements et les équipes qui souhaiteraient intégrer des compétences en « Ingénierie Durable » dans leurs formations technologiques. Ces compétences doivent permettre aux étudiants de définir leur propre trajectoire de développement professionnel et d'affiner leur identité professionnelle, et de développer des compétences spécifiques qui permettront aux ingénieurs et techniciens d'être de véritables acteurs de la durabilité.

2 Méthodologie pour définir le cadre de référence

Comme nous l'avons vu au chapitre 2, la conception d'une nouvelle offre de formation doit suivre une démarche précise et rigoureuse (voir notre démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme - Figure 9). Pour rendre opérationnelle notre démarche nous avons choisi de suivre les préconisations de [Poumay & Georges, 2017] dont l'approche a déjà été retenue et préconisée par le MENSER, notamment pour la mise en place des nouveaux diplômés de Bachelor dans les IUT. Cette approche pour la conception d'une offre de formation se décline en 6 étapes :

1. Définir les compétences (ou savoir-agir complexes) à développer par les étudiants au fil du programme,
2. Définir les composantes essentielles de la compétence,
3. Définir des niveaux de développement de la compétence,
4. Définir les apprentissages critiques à maîtriser pour atteindre un niveau de compétence,
5. Définir des situations professionnelles (contexte),
6. Définir les ressources qui seront utiles au développement de la compétence.

Nous nous sommes attachés à transcrire et spécifier les différentes étapes de cette approche pour définir ce que pourrait être un cadre de référence des compétences en ingénierie durable, ce qui nous conduit à proposer une approche adaptée et dédiée pour la définition des éléments constitutifs de ce cadre (Figure 18).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

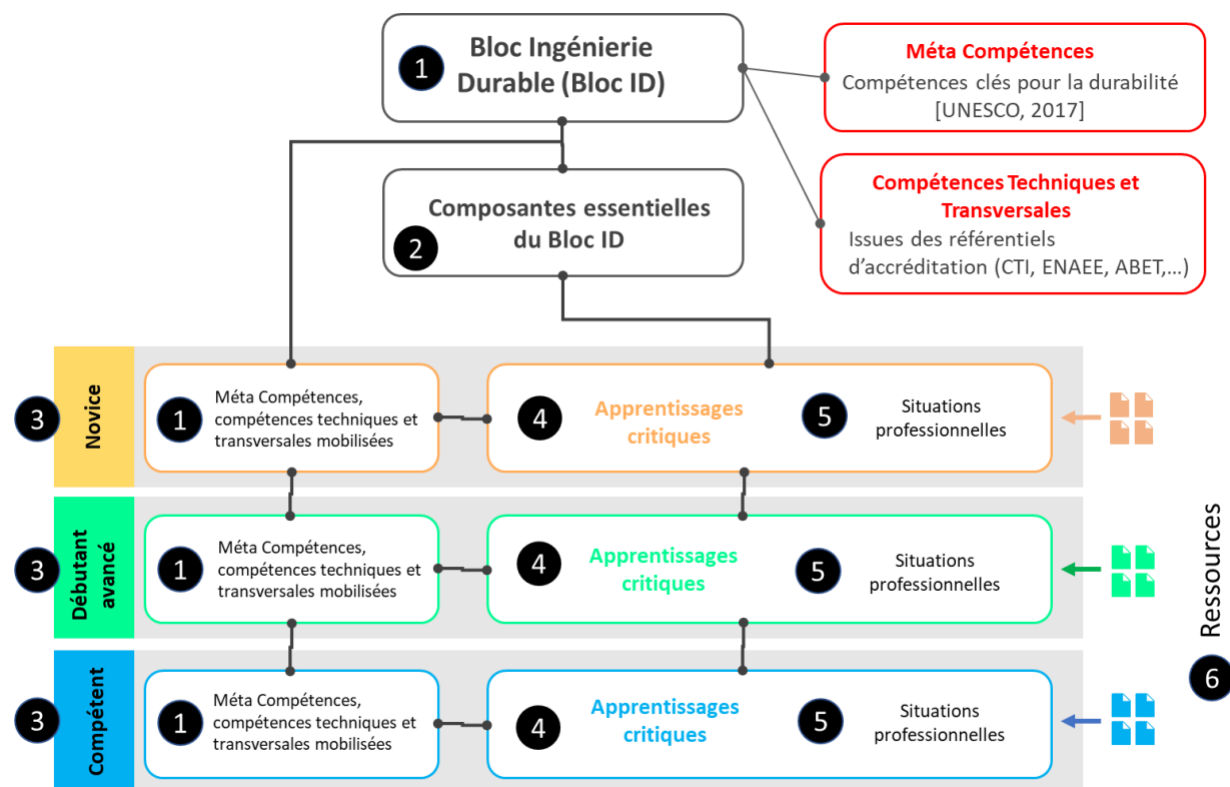


Figure 18. Adaptation de l'approche de Poumay pour la définition des éléments constitutifs d'un cadre de compétences de référence en « ingénierie durable »

Dans notre approche, les compétences à développer par les étudiants (bloc de compétences en ingénierie durable – indice 1, Figure 18) s'appuient sur les méta compétences clés pour la durabilité et les connaissances et compétences des référentiels des formations définies par les organismes d'accréditation (ABET, ENAEE ou CTI). Nous reviendrons plus en avant dans ce chapitre sur la définition et la description de chacune de ces compétences.

Pour organiser progressivement l'acquisition de ces compétences et leur donner du sens à la fois pour les enseignants et les étudiants, il est nécessaire de décomposer ce bloc de compétences en composantes essentielles (indice 2 - Figure 18) suivant un degré de maîtrise plus ou moins important au regard du profil de formé envisagé et de l'objectif de formation fixé (indice 3 - Figure 18). Selon le niveau de maîtrise, les composantes essentielles qui rendent compte de la complexité des compétences en ingénierie durable seront instanciées en fonction des compétences clés pour la durabilité tout en conservant une cohérence avec les modèles d'accréditation des formations technologiques. Nous décrirons les composantes essentielles dans la suite de ce chapitre. Pour ce qui concerne la gradation dans la maîtrise d'une compétence nous avons choisi de nous appuyer sur le modèle de [Dreyfus, 2004] qui établit une échelle progressive d'acquisition de la compétence par un individu en 5 niveaux (Tableau 11). Les deux derniers niveaux de maîtrise de la compétence nécessitent d'être immergé en milieu professionnel pour les mobiliser. Ainsi, le niveau de formation des diplômés à l'université ou dans les écoles d'ingénieurs ne sera « que » de compétent [Faucher, 2012]. Les derniers niveaux proposés par Dreyfus ne peuvent être atteints que par l'expérience ou dans le cadre d'une démarche de formation tout au long de la vie et des processus de Validation des Acquis Professionnels (VAP) et de Validation des Acquis de l'Expérience (VAE) (Figure 19).

Tableau 11. Définition des niveaux de maîtrise d'une compétence [Dreyfus, 2004]

Niveau d'acquisition	Description du niveau
Novice	L'individu ne maîtrise pas encore totalement son sujet et ne perçoit pas distinctement les spécificités d'une situation réelle. N'ayant travaillé que sur des cas d'école, il se raccroche aux règles et procédures apprises en formation.
Débutant avancé	Il ressent bien les spécificités d'une situation donnée mais n'a pas encore une vision globale de son métier
Compétent	Il maîtrise son sujet et ressent bien la plupart des situations de travail. Il est désormais capable de connecter ses nouvelles connaissances avec sa propre expérience. Face à une nouvelle situation le compétent choisit une perspective.
Avancé	Peu à peu la théorie fait place à l'intuition. Au niveau avancé on comprend le contexte et on en extrait une vision d'ensemble.
Expert	L'expert ne prend plus de décision, il fait ce qu'il faut faire, reconnaissant intuitivement la situation, le but à atteindre et le moyen d'y parvenir.

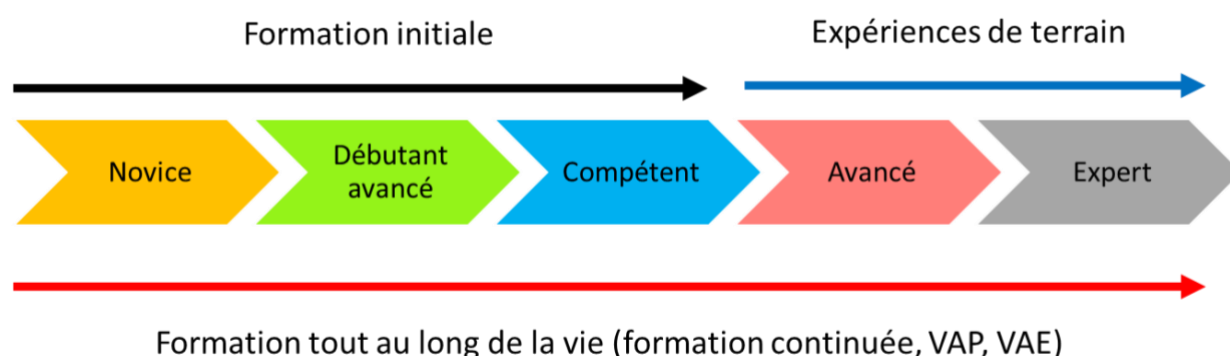


Figure 19. Évolution de la maîtrise de compétences en formation

Des apprentissages critiques (indice 4 - Figure 18) seront identifiés afin d'opérationnaliser ces compétences à l'aide des situations professionnelles (indice 5 - Figure 18) et de ressources (indice 6 - Figure 18) identifiées par les équipes enseignantes. Ces apprentissages critiques peuvent ensuite être confrontés aux compétences initialement identifiées pour s'assurer de la bonne validation de la compétence ingénierie durable. Nous décrirons ces apprentissages critiques et donnerons des exemples de situations professionnelles dans la suite de ce chapitre et dans différentes annexes.

3 Etape 1 : Spécification des compétences en ingénierie durable à développer par les étudiants, définition du bloc « ingénierie durable »

De façon générale, les programmes d'enseignement font apparaître tout ou partie des compétences techniques et transversales que nous retrouvons dans les référentiels et les enseignants ont peu ou pas de difficulté à les mettre en œuvre dans le cours (notamment

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

pour ce qui est des compétences techniques). Pour ce qui est des méta compétences, c'est un peu plus complexe car elles peuvent se révéler floues pour les enseignants si elles ne sont pas clairement caractérisées dans leurs contextes d'enseignement voire ancrées dans les disciplines qu'ils enseignent. Pour intégrer ces compétences aux enseignements technologiques, il est donc nécessaire de les définir plus précisément et de les rapprocher de thématiques, de concepts, de disciplines, d'exemples concrets qui parlent aux enseignants et font sens pour eux. Pour ce faire nous avons « traduit » et contextualisé dans le cadre de l'ingénierie durable, 7 des 8 méta compétences ou compétences clés pour la durabilité définie par l'UNESCO (Figure 12).

3.1 Caractérisation des méta compétences pour la durabilité dans un contexte technologique

La combinaison des méta compétences pour la durabilité et des compétences techniques et transversales des référentiels va permettre de construire le bloc de compétences Ingénierie Durable. Ces compétences, si elles demeurent non contextualisées, ne sont pas transposables directement dans un programme de formation. En effet les méta compétences définies par l'UNESCO [UNESCO, 2017] ne sont pas exclusives et n'ont pas été décrites pour l'ingénierie durable. Ces méta-compétences sont génériques et peuvent être définies comme « *des compétences pour acquérir d'autres compétences* » [Cheetham & Chivers, 1996]. C'est pour cela qu'il nous faut les expliciter et les contextualiser pour préciser notre cadre de référence du bloc de compétences « ingénierie durable ». Pour rappel les méta compétences pour la durabilité, ou compétences clés, définies par l'UNESCO sont :

1. **Compétence sur le plan de l'analyse systémique**
2. **Compétence sur le plan de l'anticipation**
3. **Compétence sur le plan normatif**
4. **Compétence sur le plan stratégique**
5. **Compétence sur le plan de la collaboration**
6. **Compétence sur le plan de la réflexion critique**
7. **Compétence sur le plan de la connaissance de soi**
8. **Compétence sur le plan de la résolution intégrée des problèmes.**

Nous nous sommes focalisés sur la pensée systémique, l'esprit critique, l'anticipation, la compétence normative, la compétence stratégique, la collaboration, la connaissance de soi et nous avons fait le choix de ne pas considérer « la résolution intégrée des problèmes ». Ce choix s'explique par le fait que nous avons considéré que cette compétence était intrinsèquement liée aux enseignements technologiques et qu'elle était naturellement présente dans les programmes des formations et dans la majeure partie des cours en ingénierie (notamment lors des séances de TD et de TP). Nous nous sommes attachés à définir et à décrire les savoir-agir complexes pour chacune de ces compétences sur les 3 niveaux de maîtrise de compétence visés par le cadre de référence du bloc ingénierie durable. L'objectif est de faire en sorte que les équipes pédagogiques puissent trouver dans cette proposition des savoir-agir complexes leur permettant : 1. d'identifier et de structurer l'architecture d'un programme de formation répondant aux besoins de formation des étudiants quel que soit leur niveau, 2. de construire un continuum de formation pour accompagner la progression des étudiants.

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

3.1.1 Méta compétence « Pensée systémique »

Pour comprendre cette compétence, nous pouvons reprendre la définition générale de la pensée / l'analyse systémique : « *analyser et mieux comprendre la complexité des sociétés humaines, de leurs cultures dans leurs environnements, avec la compétence de développer une pensée non linéaire, non réductrice, qui accepte la possibilité de plusieurs points de vue, de solutions partielles et révisables* » [Clément & Caravita, 2011]. L'analyse systémique est donc une compétence qui correspond à la capacité d'un individu à transférer des connaissances dans des situations diverses et à sa capacité de comprendre et de faire interagir différents champs disciplinaires. Puisqu'elle oblige à cerner les situations et les contextes dans lesquels le transfert de connaissances doit s'opérer, l'analyse systémique permet également de développer les compétences relatives à la collaboration avec différentes personnes et à la compréhension des contraintes de chacun. C'est une compétence indispensable pour avoir une vision transversale des problèmes à résoudre. Dans le cadre de l'ingénierie durable, elle permet d'être conscient que :

1. La complexité des problèmes de durabilité dans l'industrie relève de différents champs (législatif, technique, environnemental, économique, social),
2. De multiples verrous ou freins aux changements sont présents.
3. Les décisions que nous prenons, les solutions techniques que nous préconisons, nos modes de production et de consommation, etc., ont un impact fort sur le monde que cela soit d'un point de vue environnemental, économique, social ou culturel.

En termes de progression des étudiants cela signifie que les programmes et les enseignements vont devoir amener les étudiants à considérer des phénomènes et des problématiques de plus en plus complexes dans des contextes de plus en plus étendus. Une étude bibliographique, nous permet de proposer dans la figure ci-dessous des exemples de déclinaison possible par niveau de la méta compétence « pensée systémique » [Segalas, 2009], [Wiek, 2011], [Mulder, 2017], [Quelhas, 2019] (Figure 20).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

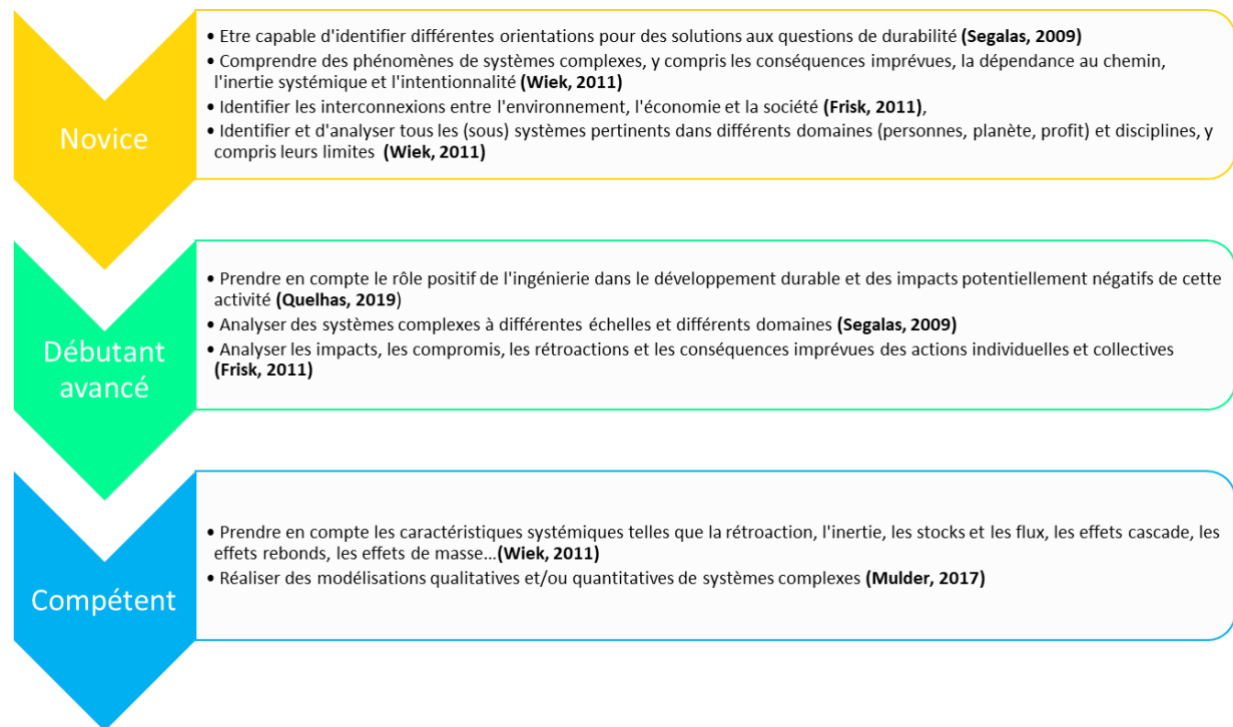


Figure 20. Caractérisation de la méta compétence « pensée systémique »

3.1.2 Méta compétence « anticipation »

La compétence d'anticipation est liée à la faculté des étudiants à comprendre et à envisager plusieurs scénarii et elle s'appuie notamment sur les travaux de recherche et autres méthodologies relatives à la pensée prospective, qui est la capacité d'imaginer non pas un avenir mais différents futurs possibles. Le développement de la pensée / réflexion prospective oblige à tenir compte de la société du risque, de l'incertitude ou du concept de prospective [Barthes & Alpe, 2012]. Pour mener une pensée prospective, selon Gaston Berger – inventeur du mot, il y a cinq piliers à prendre en compte et ainsi « *demain ne sera pas comme hier, il sera nouveau et dépendra de nous, il est moins à découvrir qu'à inventer* » [Berger, 1959]:

1. Voir loin,
2. Voir large,
3. Analyser en profondeur,
4. Prendre des risques,
5. Penser à l'homme.

En ingénierie durable et de façon plus pratique dans un projet faisant appel à des connaissances et compétences techniques, envisager différents scénarii de conception, de production, de transport, etc. d'un produit et d'évolution du projet peut permettre d'avoir une vision plus large de l'ensemble des facteurs de durabilité et donc avoir une capacité à prendre des décisions elles-mêmes plus ou moins impactantes [Wiek, 2011], [Frisk, 2011], [Quelhas, 2019] (Figure 21).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur



Figure 21. Caractérisation de la méta-compétence « anticipation »

3.1.3 Méta-compétence « Esprit critique »

Dans les formations technologiques l'esprit critique correspond à la capacité d'analyser, de raisonner, de synthétiser et d'évaluer les informations recueillies pour créer, modifier ou concevoir de nouveaux produits²⁸ [Ennis, 1985]. La raréfaction des ressources minérales, des ressources énergétiques, le concept d'économie circulaire ou la prise en compte du cycle de vie d'un produit dans son ensemble par exemple remettent en question des pratiques de conception, d'industrialisation, de production, de logistique ou d'achat enseignées depuis de nombreuses années. Les ingénieurs et les techniciens sont de plus en plus souvent face à des dilemmes éthiques et doivent identifier les risques, les incertitudes et parfois adopter des postures non conventionnelles : « *Critical thinking is a vital part of the engineering profession. Engineers are taught to analyze and think through problems from multiple perspectives in order to reach an appropriate solution* » [Sola et al., 2017]. Si nous voulons que les étudiants soient en capacité de prendre du recul, de récolter des informations pour ensuite être capables d'établir leur propre diagnostic et proposer une ou des solutions adaptées, il faut qu'ils puissent avoir des connaissances techniques, un cadre de valeurs et qu'ils soient stimulés par des propositions pédagogiques les conduisant à devoir mettre en œuvre une approche transversale et critique des problématiques de durabilité [Segalas, 2009], [Mulder, 2017], [Scherak, 2020] (Figure 22).

²⁸ « *Critical thinking is reflective and reasonable thinking that is focused on deciding what to believe or do* » [Ennis, 1985]

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

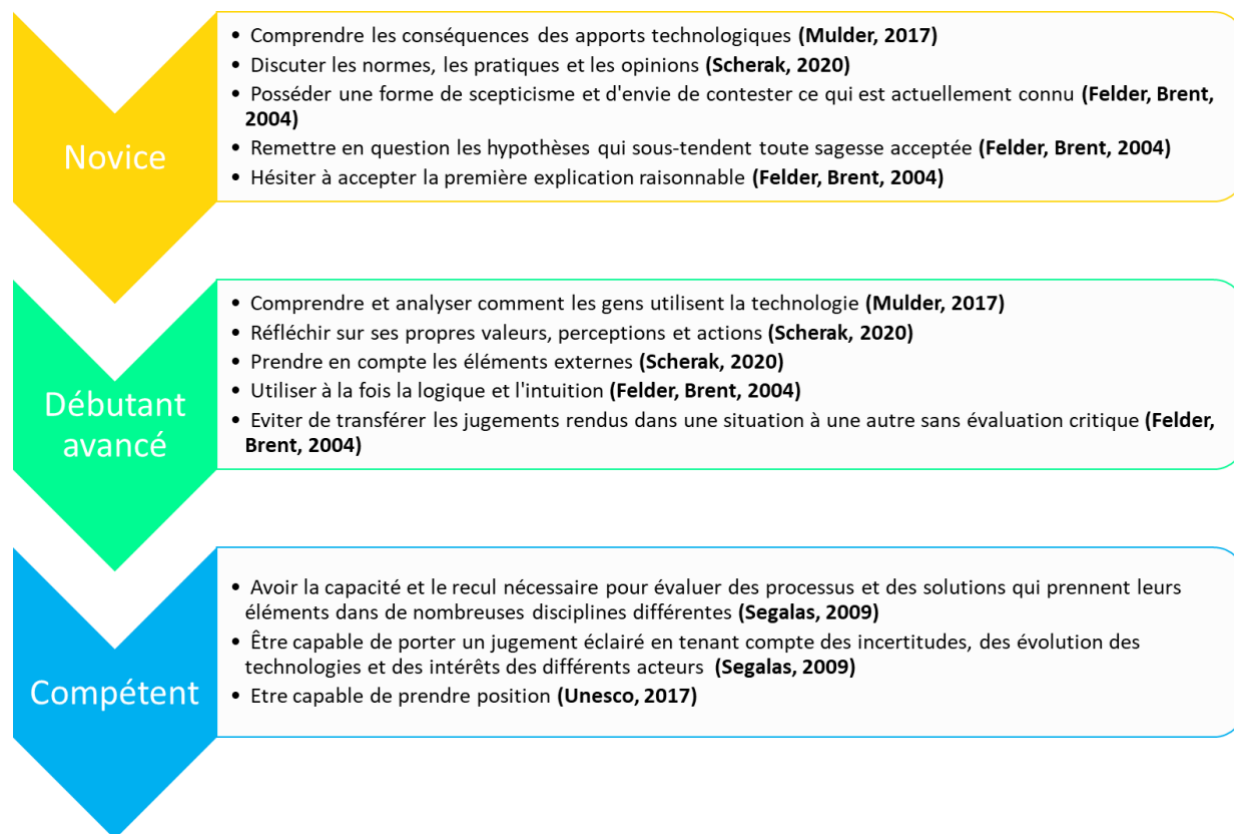


Figure 22. Caractérisation de la méta-compétence « esprit critique »

3.1.4 Méta-compétence « compétence stratégique »

La compétence « stratégique » est la capacité de concevoir et mettre en œuvre collectivement des actions innovantes qui accroissent la durabilité au niveau local et au-delà. Pour se faire, le développement durable et l'ingénierie durable doivent être considérés comme des orientations « gagnantes » pour l'entreprise et faire partie intégrante de la stratégie d'évolution de l'entreprise. Les ingénieurs vont donc travailler à développer des processus et des activités supports au déploiement de cette stratégie qui vont contribuer à la recherche de la meilleure relation entre innovation, technologie et design, pour répondre à des exigences de durabilité [Quelhas, 2019]. Cette intégration de la durabilité comme axe fort de la stratégie de l'entreprise devrait lui permettre de répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs mais aussi de se différencier de la concurrence en faisant preuve de créativité.

En termes de programme de formation et de modalités pédagogiques en ingénierie durable, cela implique d'amener les étudiants à penser différemment, à sortir des modèles de conception habituels et à être des acteurs de la durabilité. Il ne s'agit plus d'analyser des situations techniques ou de faire des constats en suivant des procédures mal adaptées aux enjeux de durabilité mais bien de proposer et d'organiser de nouvelles méthodes et façons de travailler pour être capable d'analyser finement les attentes des consommateurs et d'y apporter une réponse durablement satisfaisante. Pour développer cette compétence, qui doit prendre en compte les aspects technologiques mais également économiques et sociaux de l'entreprise, quelques pistes d'outils de formation ont notamment été identifiées par Mulder [Mulder, 2014] telles que : l'analyse rétrospective, l'utilisation de cartes sociotechniques (« Socio-technical map ») et les jeux de rôles permettant de mettre les étudiants dans

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

différents rôles professionnels et ainsi se rendre compte des différents points de vue (Figure 23).



Figure 23. Caractérisation de la méta compétence « compétence stratégique »

3.1.5 Méta compétence « collaboration »

La compétence de collaboration se joue à plusieurs niveaux : au niveau de l'équipe dans laquelle l'individu évolue (les collaborateurs par exemple) et les éléments du contexte dans lequel il évolue (les parties prenantes d'un projet par exemple). Au sein de l'équipe, cette compétence renvoie à la capacité à développer des relations à forte valeur ajoutée avec les autres en les considérant comme des « partenaires » et non comme des « adversaires ». Cette compétence se caractérise par le fait que l'individu va chercher à apprendre des autres, à comprendre, à respecter et tenir compte de leurs besoins, de leurs points de vue et de leurs actes (forme d'empathie), mais qu'il va aussi chercher à nouer des liens avec eux et à leur prêter attention (forme de leadership empathique).

Dans le cadre de l'ingénierie durable, la compétence de collaboration va se traduire par le fait que l'ingénieur ou le technicien va considérer, au moment de prendre des décisions et de faire des choix de conception ou autres, ses partenaires et toutes les parties prenantes d'un projet et l'impact de ses choix sur celles-ci. Considérer ses partenaires et les parties prenantes consiste à comprendre, définir et prendre conscience du rôle, de la place, de l'implication et de l'apport de chacun dans le projet. Pour permettre la prise en compte de ses perspectives, la mise en place de projets et d'activités pédagogiques obligeant les étudiants à travailler sur un modèle interdisciplinaire devient une modalité pédagogique incontournable. Ces projets ou activités doivent aussi intégrer un volet collaboratif et participatif fort pour faire en sorte que les étudiants mobilisent et développent leurs aptitudes en termes de gestion de groupe et de capacité à faire travailler efficacement une équipe ensemble : savoir apaiser les conflits

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

au sein d'un groupe quand cela est nécessaire, faciliter la résolution des problèmes sur la base de la collaboration et de la participation afin que chacun se sente partie prenante du projet et s'y implique pleinement, etc. [Lans, 2014], [Ploum, 2018], [Quelhas, 2019] (Figure 24).

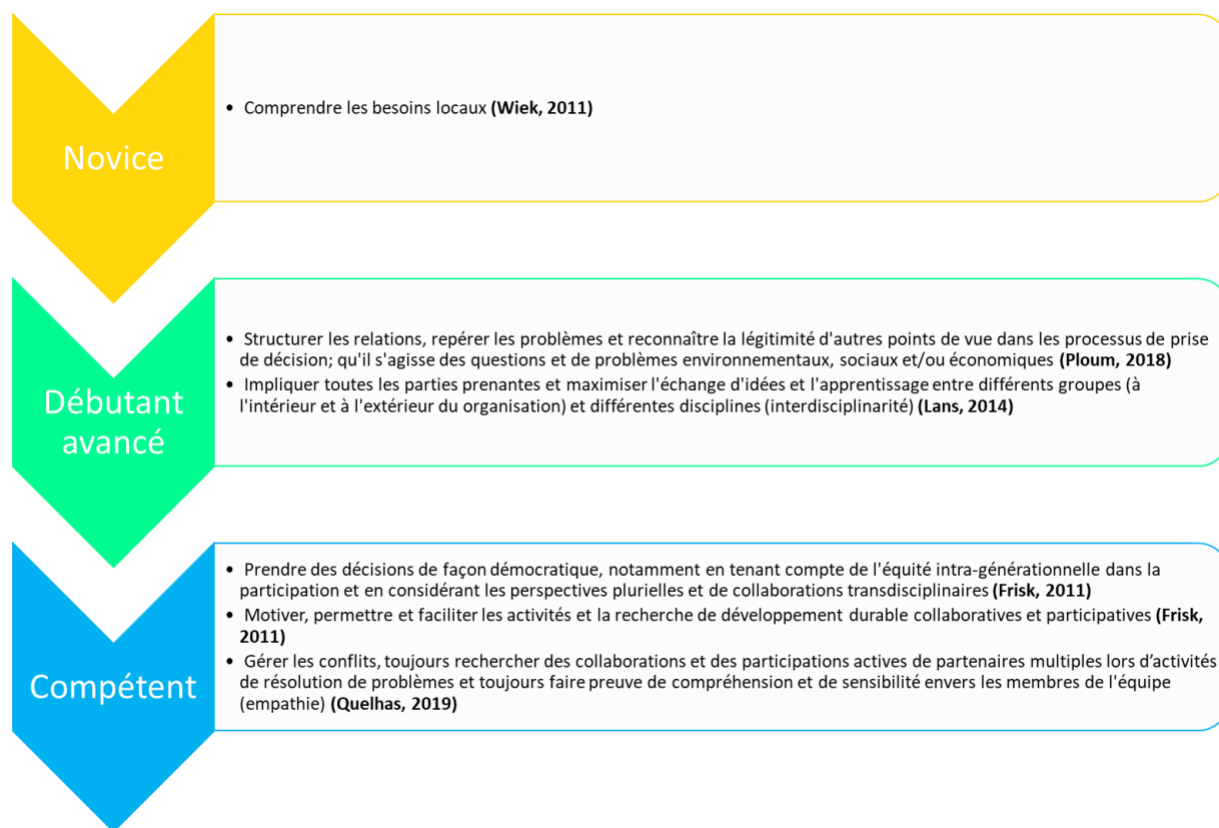


Figure 24. Caractérisation de la méta compétence « collaboration »

3.1.6 Méta compétence « connaissance de soi » et « normative »

La compétence « connaissance de soi » est définie selon l'UNESCO par : « *la capacité de réfléchir à son propre rôle au sein de la communauté locale et de la société (de la communauté mondiale), d'évaluer sans cesse ses propres actions, d'en approfondir les motivations, et de maîtriser ses sentiments et ses désirs* ». Elle correspond donc à l'aptitude d'un individu à évoluer dans des situations ambiguës et en accepter le risque et l'incertitude. Cette compétence est, de notre point de vue, très liée avec la compétence « normative » qui est définie de la façon suivante par l'UNESCO : « *la capacité de comprendre et d'analyser les normes et les valeurs sur lesquelles reposent ses propres actions* ». En effet, la réflexion que chacun va mener quant à son rôle au sein de la communauté est souvent dirigée et orientée par son propre cadre de valeurs et de normes : nous nous positionnons par rapport aux autres relativement à l'image que nous avons de nous-même [Kolmos *et al.*, 2015].

En ingénierie durable, ces deux compétences vont correspondre à la fois à la construction de l'éthique de l'ingénieur et du technicien (normes, valeurs, justice sociale, équité, etc.) et au développement de sa capacité à l'appliquer dans ses activités. Dans leur formation, les étudiants vont ainsi devoir être confrontés à la mise en œuvre de normes relatives au développement durable telles que les normes ISO de la famille 14000 pour le management environnemental ou les normes de la famille 26000 pour la responsabilité sociétale des entreprises, mais aussi à des aspects moins « normés », plus « intangibles », en

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

lien notamment avec la prise en compte de facteurs culturels ou sociaux propres aux contextes dans lesquels ils auront à évoluer [Segalas, 2009], [Wiek, 2011]. La mise en œuvre de ces normes et d'une vision « interculturelle » des problématiques oblige à repenser sa pratique professionnelle et permet de se positionner personnellement dans son engagement. Soit l'étudiant fera une application stricto sensu des normes de façon indépendante du contexte dans lequel il les applique, soit il s'en emparera pleinement et considèrera leur mise en œuvre en adoptant une approche plus fine, en pleine conscience de ses propres valeurs et des conséquences de ses actions, de ses choix [Frisk, 2011], [Kolmos *et al.*, 2015] (Figure 25). Du point de vue de l'enseignement en ingénierie durable, les méta compétences « connaissance de soi » et « normative » étant liées, nous avons choisi de les fusionner en une seule méta compétence : « compétence personnelle ».

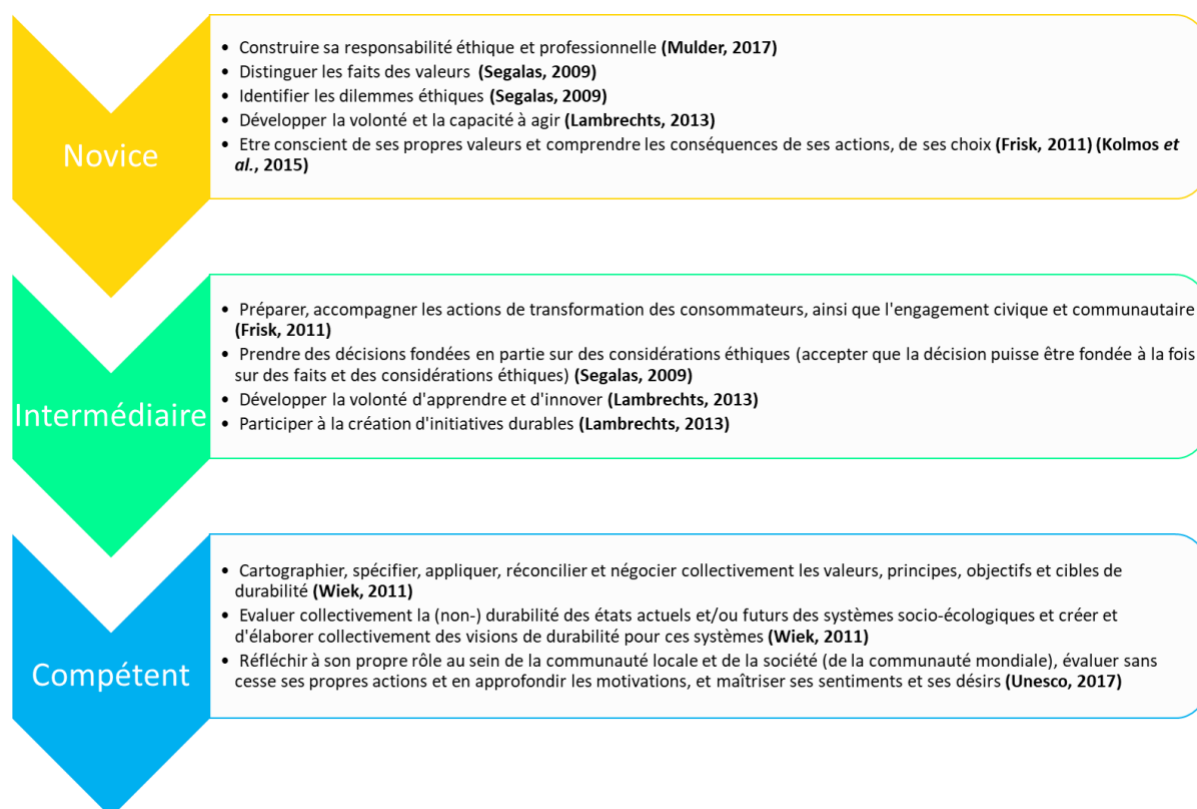


Figure 25. Caractérisation de la méta compétence « compétence personnelle »

3.2 Caractérisation des compétences techniques et transversales pour la durabilité dans les formations technologique et en ingénierie durable

Nous avons présenté en Figure 13 une illustration des compétences en lien avec le DD à intégrer dans les programmes de formation et l'analyse et la synthèse des référentiels de compétences nous permettent de les préciser, notamment les compétences techniques et transversales. Nous proposons une illustration sous forme de cercles concentriques représentant les différentes « strates » de savoirs et de compétences d'un étudiant. Au cœur de la figure, se trouvent les valeurs propres à l'individu mais aussi les valeurs collectives qui sont les siennes (valeurs de la communauté, de la républiques, normes sociales, culture, etc.) (disque rouge, Figure 26). Elles vont se construire et évoluer tout au long de sa vie dans le cadre d'un processus individuel propre à chacun. L'éducation et la formation peuvent avoir un effet sur celles-ci mais de nombreux autres facteurs (familles, proches, amis,

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

communautés, etc.) sont aussi déterminants dans la construction d'un système de valeurs. Nous proposons que la « strate » de compétences suivantes soient constituée des méta-compétence ou compétences clés pour le développement durable que nous venons de décrire dans la section précédente (disque vert, Figure 26). Ces méta-compétences vont venir structurer la façon dont l'individu (l'étudiant) va observer, percevoir, appréhender, analyser le monde qui l'entoure et évoluer dans celui-ci. Ces méta-compétences sont mobilisables en formation mais pas seulement puisqu'elles le sont aussi dans les activités du quotidien. Elles ne sont pas spécifiques aux activités d'ingénierie durable mais elles leur sont malgré tout indispensables. Enfin, les différents référentiels (ABET, ENAEE, CTI et CDIO) viennent préciser les connaissances et compétences techniques et nous permettent d'identifier des compétences spécifiques à l'ingénierie durable qui doivent être développées tout au long du cursus de formation (disque bleu, Figure 26). Ces compétences vont s'appuyer sur les valeurs et les méta-compétences (d'où leur positionnement périphérique) et les étudiants vont les acquérir essentiellement en formation. L'enjeu pour les équipes enseignantes est de concevoir et mettre en œuvre des programmes de formation et des activités pédagogiques permettant de construire progressivement l'ensemble de ces compétences. Ainsi, chaque établissement, chaque formation, en fonction de ses spécificités et de ses objectifs et moyens de formation va proposer sa propre déclinaison de ces compétences techniques et transversales.

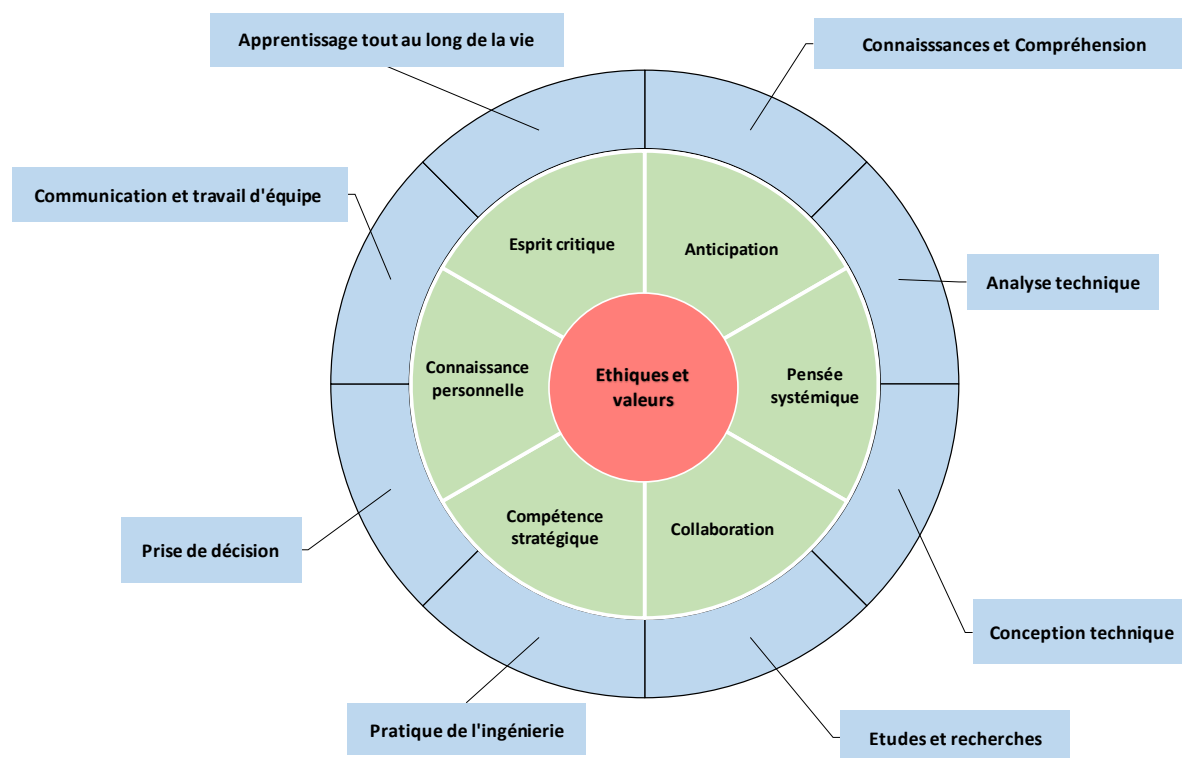


Figure 26. Compétences et valeurs à intégrer dans les programmes de formation en ingénierie durable

4 Etapes 2, 3 et 4 : Définition des composantes essentielles du bloc « ingénierie durable », apprentissages critiques et situations professionnelles associés

Dans la démarche proposée par Poumay et Georges [Poumay & Georges, 2017], les composantes essentielles sont : « des constituants incontournables de la compétence qui sont

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

porteurs de ses caractères essentiels, permettent de caractériser la façon dont doit idéalement être mise en œuvre la compétence et prennent la forme de géronatifs qui complètent l'action (3 à 6 composantes essentielles par compétence) ». Nous avons donc travaillé à l'identification de composantes essentielles qui sont à développer dans une formation à l'ingénierie durable. Ces composantes doivent permettre aux étudiants d'approfondir leurs connaissances scientifiques et techniques et leurs compétences sur le développement durable mais également de les mettre en œuvre dans le cadre de résolution de problèmes ou de projets d'ingénierie durable. Ainsi, de notre point de vue et de l'analyse de la littérature c'est (Figure 27) :

1. En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au DD que l'étudiant développera les compétences connaissance personnelle, esprit critique, pensée systémique et collaboration,
2. En agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet d'ingénierie durable que l'étudiant développera les compétences connaissance personnelle, esprit critique, pensée systémique, collaboration et anticipation,
3. En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux que l'étudiant développera les compétences connaissance personnelle, esprit critique, pensée systémique, collaboration, normative et stratégique,
4. En développant sa capacité d'innovation et de créativité au cours de projet d'ingénierie durable que l'étudiant développera toutes les méta compétences clés pour le développement durable,
5. En intégrant pleinement l'ingénierie durable dans un contexte industriel que l'étudiant développera toutes les méta compétences clés pour le développement durable.

Nous n'avons volontairement pas fait apparaître les valeurs ainsi que les compétences techniques et transversales dans la description des composantes essentielles et sur la figure car elles sont pour nous intrinsèquement présentes et déclinées dans chacune d'elle.

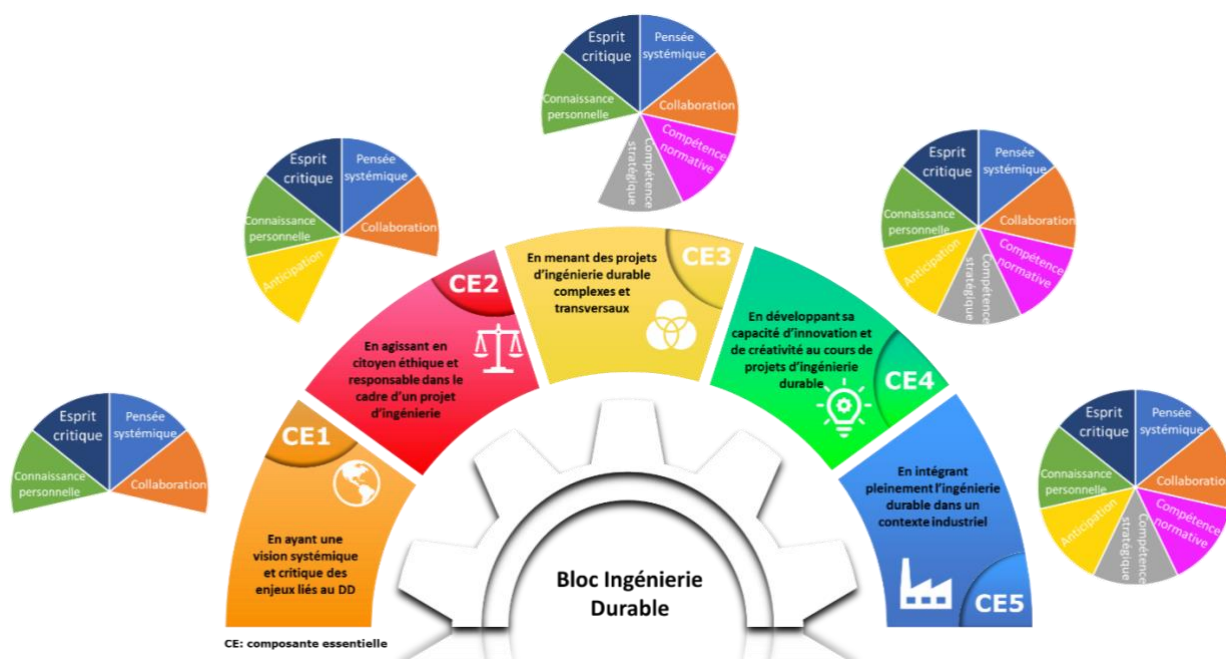


Figure 27. Composantes essentielles du bloc de compétences « ingénierie durable »

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Au-delà des composantes essentielles ce sont aussi les apprentissages critiques qu'il va falloir définir. Un apprentissage critique « *correspond à une réorganisation cognitive ou à l'intégration de nouvelles règles ou de nouveaux principes* » (Tardif et al, 2006). La définition de cet apprentissage critique est également le seuil à atteindre pour permettre le passage au niveau de maîtrise supérieur et met donc en évidence le changement attendu chez l'étudiant.

4.1 Composante essentielle « En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable »

L'objectif de la composante « En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable » est de faire acquérir aux étudiants un socle de connaissances et de valeurs pour comprendre les enjeux du développement durable dans un contexte industriel large. Ils doivent être en mesure d'identifier les documents et références (les rapports du GIEC, de la WEF ou des travaux de recherche sur le changement climatique par exemple) leur permettant d'avoir un état des lieux de la situation mondiale actuelle. L'enjeu est de faire en sorte que les étudiants soient conscients qu'il ne suffit pas d'appliquer des « recettes » ou des solutions préétablies face aux problématiques de durabilité systémiques, multifactorielles, en constante évolution et pour lesquelles les connaissances associées sont parfois non établies et non stabilisées selon les modèles associés. Les étudiants doivent ainsi faire preuve d'esprit critique pour être en capacité de répondre à l'incertitude de demain [Adair, 2016]. Le développement de cet esprit critique s'appuie sur des activités pédagogiques et des projets d'ingénierie qui mobiliseront les concepts et modèles de la pensée systémique [Lemoigne, 1994], [Lemoigne, 2012] et amèneront les étudiants à identifier dans les systèmes : les root-causes, les liens de causes-conséquences, les effets cascades, les effets rebonds, les effets de masse... [Wiek & Kay, 2015]. Analyser les liens et les interactions entre différents domaines et avoir une approche interdisciplinaire dans les projets est primordial pour permettre une analyse en profondeur des problématiques et obliger la prise en compte de parties prenantes multiples ce qui conduit souvent à devoir collaborer avec des acteurs d'autres domaines [Filho, 2009]²⁹.

Les offres de formation doivent donc amener les étudiant à travailler dans le cadre de programmes et de situations pédagogiques nécessitant de mettre en œuvre une approche de résolution de problèmes interdisciplinaires et complexes s'étendant au-delà du seul champ disciplinaire technique dans lequel sont formés les étudiants et combinant des analyses sociétales et durables avec l'application de connaissances et de solutions techniques académiques.

Au niveau novice, un premier objectif est de développer chez les étudiants la pensée systémique en amenant une réflexion sur les principaux concepts liés au développement durable avec une prise en compte des ODD³⁰ favorisant la compréhension des interactions environnementales, économiques et sociales. Le second objectif est de mobiliser les étudiants sur des axes de travail et des questions de recherche relatives à l'étude et à la

²⁹ « Si les enfants et les adultes doivent développer une connaissance interdisciplinaire et systémique des environnements naturels et bâtis et les compétences nécessaires pour participer activement au développement d'une société et d'une économie durables, l'éducation à la durabilité devrait être intégrée à davantage de matières et à tous les niveaux scolaires » [Filho, 2009].

³⁰ ODD : Objectifs de Développement Durable - <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

compréhension des phénomènes régissant ou influençant la dynamique des systèmes complexes. Dans le cadre d'une formation technologique, les étudiants pourront être initiés à la notion de cycle de vie de produit et mettre en avant les problématiques de durabilité qui peuvent être induites par les technologies. D'un point de vue de l'éthique de l'ingénieur et de la construction de ses valeurs, la formation permettra de « *comprendre et analyser les impacts, les compromis, les rétroactions et les conséquences imprévues des actions individuelles et collectives* » [Frisk & Larson, 2011]. La phase « novice » de cette compétence est essentielle et est le socle indispensable à la formation à l'ingénierie durable (Figure 28).

Lorsque les connaissances, savoirs et compétences de cette phase sont acquises, les étudiants peuvent être placés en situation de pédagogie active ce qui va leur permettre d'approfondir ce socle et de le solliciter pour résoudre les problèmes qui leur sont posés. Ainsi à un niveau débutant avancé, les étudiants devront mobiliser à la fois une pensée systémique à un niveau taxonomique plus élevé qu'au cours de la phase novice et un esprit critique. L'objectif est de passer du constat à l'action. Les enseignants privilégieront une pédagogie de projet ou de résolution de problème pour amener les étudiants à réinvestir les apprentissages du niveau précédent et à proposer des pistes de solutions pour identifier les impacts négatifs mais également de capitaliser sur les impacts positifs en termes de durabilité des systèmes conçus [K. F. Mulder, 2017] (Figure 28).

Enfin, à un niveau compétent, les étudiants seront normalement en capacité de mobiliser plusieurs compétences transversales et pourront davantage investir la question sociétale du développement durable. A cette étape de leur formation, ils feront appel à un panel de compétences plus large telles que la pensée systémique, l'esprit critique, la collaboration et la prise de conscience de leur rôle dans la société. A ce niveau de compétence, « *les approches de conception se concentrent sur la promotion de changements radicaux sur la façon dont les besoins sociétaux, tels que la nutrition et le transport / mobilité, sont satisfaits, et donc sur le soutien des transitions vers de nouveaux systèmes socio-techniques* » [Ceschin & Gaziulusoy, 2016] (Figure 28).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

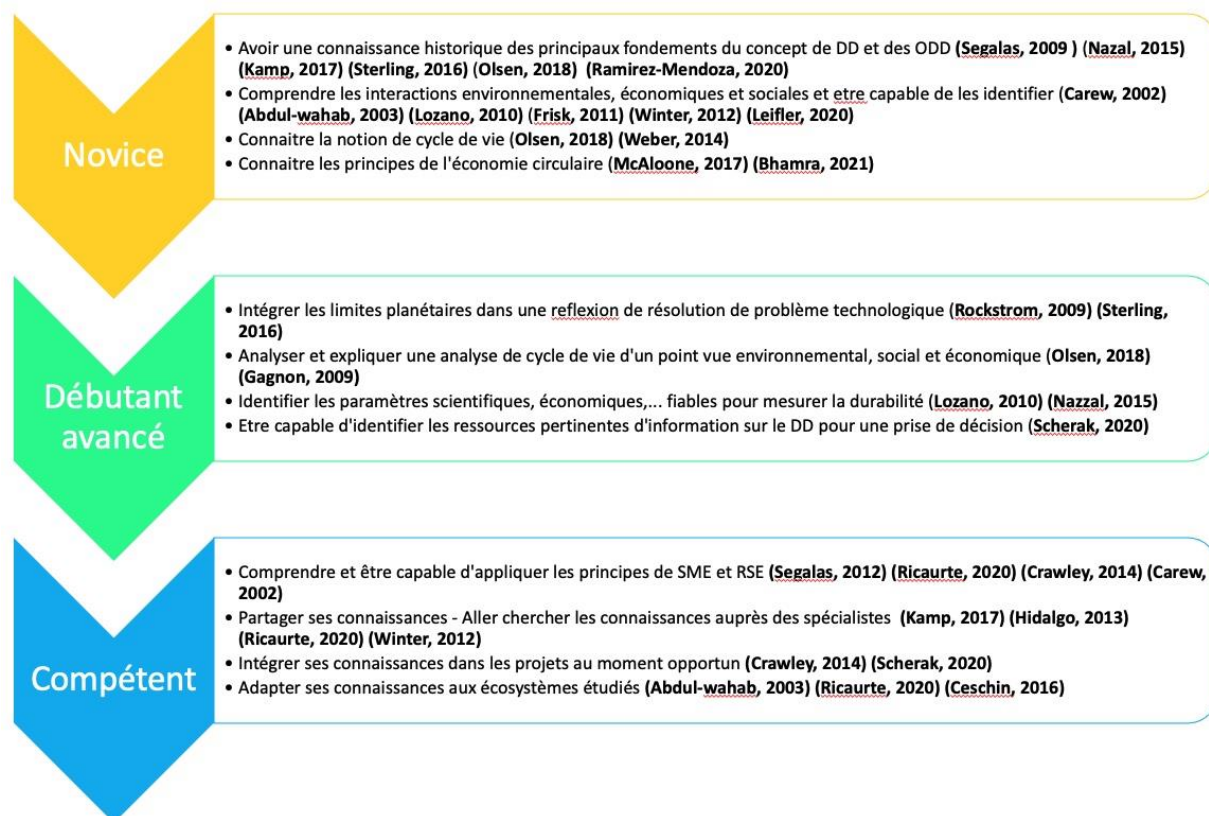


Figure 28. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « en ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable »

Une fois que les enseignants ont identifiés les apprentissages critiques qu'ils souhaitent travailler avec leurs étudiants, il leur est alors possible de proposer des situations professionnelles permettant la mise en œuvre d'une pédagogie active visant l'acquisition des compétences associées aux apprentissages (Annexe 5).

Les différents niveaux de compétences de cette composante essentielle s'inscrivent dans les référentiels des organismes d'accréditation que nous avons étudiés et contribuent à développer chez les étudiants 4 méta-compétences (esprit critique, connaissance personnelle, pensée systémique et collaboration) et 4 compétences techniques et transversales (connaissances et compréhension, conception technique, études et recherches, prise de décision).

Lors des activités permettant de solliciter les compétences visées ci-dessus les étudiants vont rapidement devoir faire face à des problématiques sociétales soulevant des questions socialement vives et interrogeant de ce fait les aspects plus fortement liés à l'éthique. Cette composante axée essentiellement sur la prise en compte et la connaissance du développement durable doit donc être complétée pour que les étudiants puissent aussi mobiliser un questionnement éthique dans les choix technologiques qui vont opérer et les décisions qu'ils vont prendre.

4.2 Composante essentielle « En agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet d'ingénierie »

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

L'intégration et la place de l'éthique dans les formations sont souvent considérées par les établissements et les enseignants comme des questions épineuses. Avant d'envisager l'intégration de l'éthique dans un cursus ou un cours, les enseignants des universités et écoles d'ingénieurs doivent considérer que les étudiants ne sont pas neutres sur cette question à leur entrée dans le supérieur. En effet, ils ont tous suivi un enseignement en éducation morale et civique (du primaire jusqu'au lycée) qui traite, entre autres choses, de la question de l'éthique³¹. De plus, il est à noter que l'éthique environnementale est devenue normalement plus présente dans la formation des élèves puisque la fonction d'éco-délégué est présente aujourd'hui dans les collèges et les lycées³². Sur la base du volontariat, les élèves engagés dans cette fonction pourront s'investir au niveau de leur classe ou au niveau de leur établissement et s'engageront à³³ :

- **Porter des projets** pour améliorer la biodiversité, diminuer l'impact énergétique de l'établissement, promouvoir des gestes éco-responsables de l'ensemble de la communauté éducative, sensibiliser à la lutte contre le gaspillage alimentaire, promouvoir des actions
- **Être ambassadeur** auprès des services, des responsables et des instances de l'établissement, ainsi que des partenaires extérieurs
- **Restituer les actions menées**, contribuer à leur évaluation et à leur valorisation
- **Transmettre des informations et des connaissances** à leurs camarades

Ainsi, même si le recul critique est faible, l'accent étant mis davantage sur la gestion technique que sur la capacité à problématiser les questions de développement durable, certains élèves de lycée auront donc normalement déjà eu l'occasion de réfléchir ou mieux agir activement sur l'écosystème de leur établissement. Ils auront fait face à des dilemmes éthiques leur faisant prendre conscience que leurs décisions ont un impact sur leur communauté. Nous commençons alors à nous approcher de la notion d'éthique au sens de la définition d'Edgar Morin [Morin, 1994] : « *l'éthique ne saurait être enseignée par des leçons de morale. Elle doit se former dans les esprits à partir de la conscience que l'humain est à la fois individu, partie d'une société, partie d'une espèce* ». Toutefois cet engagement ne concerne qu'un faible nombre d'élèves et les établissements du supérieur ne peuvent pas considérer que la majorité de leurs étudiants néo bachelier aura ce type de profil. Les établissements du supérieur devront donc considérer que les programmes de formation en ingénierie durable devront être le plus complet possible, en repartant des bases fondamentales de la dimension éthique de l'ingénieur. L'objectif est d'aller au-delà des « *sciences appliquées à la professionnalisation des étudiants : insertion professionnelle, développement des compétences managériales attendues des entreprises, connaissance des processus d'ingénierie* » [Lemaître, 2021] pour développer pleinement l'éthique de la responsabilité³⁴ et l'éthique du futur [Jonas, 1998]. La technologie et son utilisation ayant la capacité de modifier les modes de vies, les futurs techniciens et ingénieurs doivent prendre

³¹ « l'enseignement moral et civique aide les élèves à devenir des citoyens responsables et libres, conscients de leurs droits mais aussi de leurs devoirs. Il contribue à forger leur sens critique et à adopter un comportement éthique ». Programme d'EMC de l'Education Nationale.

³² Circulaire n° 2019-121 du 27-8-2019

³³ <https://www.education.gouv.fr/des-eleves-eco-delegues-pour-agir-en-faveur-du-developpement-durable-10835>

³⁴ « Agis de façon que les effets de ton action soient compatibles avec la permanence d'une vie authentiquement humaine sur Terre » [Jonas, 1979]

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

en compte ce paramètre et anticiper les répercussions de leurs activités sur l'environnement et la société.

Au niveau novice, la question de l'éthique sera abordée dans le cadre d'activités au cours desquelles les étudiants seront placés dans des situations de résolution de problèmes qui leur permettent de se questionner sur leurs choix et leurs décisions dans une approche globale des impacts de ceux-ci sur l'environnement, l'économie et la société (Figure 29). L'objectif est double :

1. Leur faire prendre conscience de leur rôle dans le cadre d'un projet durable et les faire travailler une fois encore l'esprit critique et l'analyse systémique mais dans une mise en situation réelle [Scherak, 2020].
2. Les amener progressivement à combiner une vision systémique et leurs connaissances et savoirs techniques au cours des activités de conception pour que leurs propositions soient cohérentes avec les enjeux de la durabilité et donc soutenables environnementalement, économiquement et socialement [Rubio, 2019]. Les étudiants seront alors en mesure d'évaluer le degré de prise en compte des enjeux et des paramètres de durabilité dans leur projet.

Ces activités seront aussi l'occasion pour les étudiants de travailler sur la compétence « connaissance soi » puisqu'elles permettront à chacun d'eux de se situer entre soutenabilité faible ou forte et de remettre en perspective leurs croyances, leurs certitudes et leurs valeurs [Huntziger, 2007].

Au niveau débutant avancé, l'objectif est de favoriser des activités obligeant les étudiants à mener des tâches collaboratives interdisciplinaires les mettant en situation de prendre des décisions influant sur la soutenabilité de leurs propositions [Cadieux, 2021]. Ils doivent être en mesure d'argumenter sur les choix réalisés en fonction des contraintes et des spécificités territoriales dans lesquelles s'inscrivent leurs propositions [Renouard, 2020] (Figure 29).

Enfin le niveau compétent correspond à une forme de changement d'échelle. Les projets proposés doivent prendre forme dans un contexte impliquant de multiples parties prenantes réparties sur des territoires éloignées, avec des besoins, des exigences et des profils variés (économiques, culturels, etc.) pour que les connaissances et compétences des niveaux précédents soient mobilisées dans un contexte qui soit le plus proche d'un contexte industriel réel. Les projets doivent aussi permettre de prendre en compte les enjeux liés à la RSE [Canney, 2015] (Figure 29).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

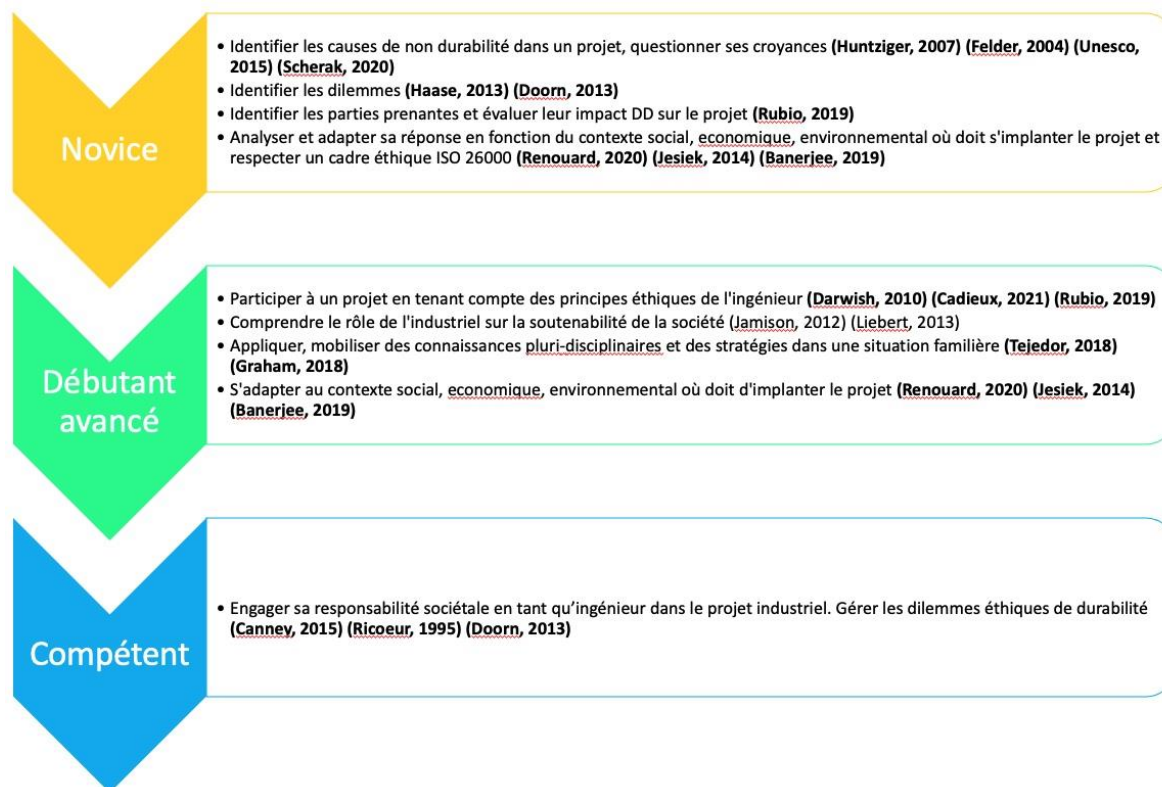


Figure 29. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « en agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet d'ingénierie »

Pour mettre en œuvre les connaissances, savoirs et compétences associés à cette composante essentielle, les enseignants peuvent proposer différentes situations d'apprentissage aux étudiants selon le niveau de maîtrise choisi ou visé. Nous avons identifié et listé quelques exemples de situations d'apprentissage en Annexe 6.

Toutes les méta compétences pour le développement durable sont sollicitées dans cette composante essentielle. De plus, comme elle mobilise les étudiants sur des projets interdisciplinaires qui nécessitent qu'ils aient une ouverture vers le monde qui les entoure et interroge le rôle de chacun dans la société, elle sollicite aussi la quasi-totalité des compétences techniques et transversales des référentiels.

Les deux premières composantes essentielles correspondent aux éléments de la formation qui sont un socle essentiel et indispensable pour les étudiants, leur permettant d'envisager une véritable formation à l'ingénierie durable. Ces composantes participent de ce que les étudiants travaillent à la fois les compétences transversales et techniques mais laissent également une large part à la construction et/ou la prise de conscience des valeurs et de l'éthique en ingénieries. Une fois atteint a minima le niveau « novice » dans ces 2 composantes essentielles, l'intégration réelle du développement durable dans une activité de conception industrielle peut réellement prendre son sens. La troisième composante essentielle va donc mettre davantage la focale sur les méthodes et outils à connaître pour la prise en compte du développement durable dans les activités de l'ingénieur. Cette composante est adaptable en fonction du parcours spécifique choisi par l'étudiant. Nous nous sommes ici situés dans un parcours en génie mécanique, mais la même démarche pourrait être menée en génie civil, en chimie, en informatique...

4.3 Composante essentielle « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux »

Après avoir externalisé pendant longtemps les fonctions de conception durable ou d'écoconception en faisant appel à des bureaux d'études spécialisés, les industriels cherchent désormais à recruter des ingénieurs possédant les compétences nécessaires pour intégrer la durabilité dans le développement de leur produit. Les institutions scolaires et universitaires l'ont parfaitement compris, et les notions d'analyse de cycle de vie (ACV), de mesure d'impact environnemental ou d'écoconception sont déjà présentes dans différents programmes de formation. De nombreuses publications mettent en avant la nécessité d'avoir des formations à l'écoconception qui incluent les enjeux sociaux et économiques du développement durable dans les problématiques technologiques [Ceschin & Gaziulusoy, 2016], [Perpignan *et al.*, 2018]. Le problème est que la majorité des enseignements en écoconception ne le font pas. Les enseignements s'appuient souvent sur la norme ISO 14062 et n'abordent que les aspects environnementaux car ils se basent sur la définition de l'écoconception donnée dans cette norme [ISO 14062,2003] et reconnue par le monde industriel et académique : « [l'écoconception est] l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits » (Figure 30). Cette norme permet de donner un premier cadre pour les étudiants afin de percevoir la démarche à suivre pour intégrer le paramètre environnemental à la conception mais l'enjeu est de proposer des formations qui vont au-delà de ce paramètre pour étendre la démarche à l'ensemble des paramètres et facteurs de l'ingénierie durable (volet social, éthique, etc.).

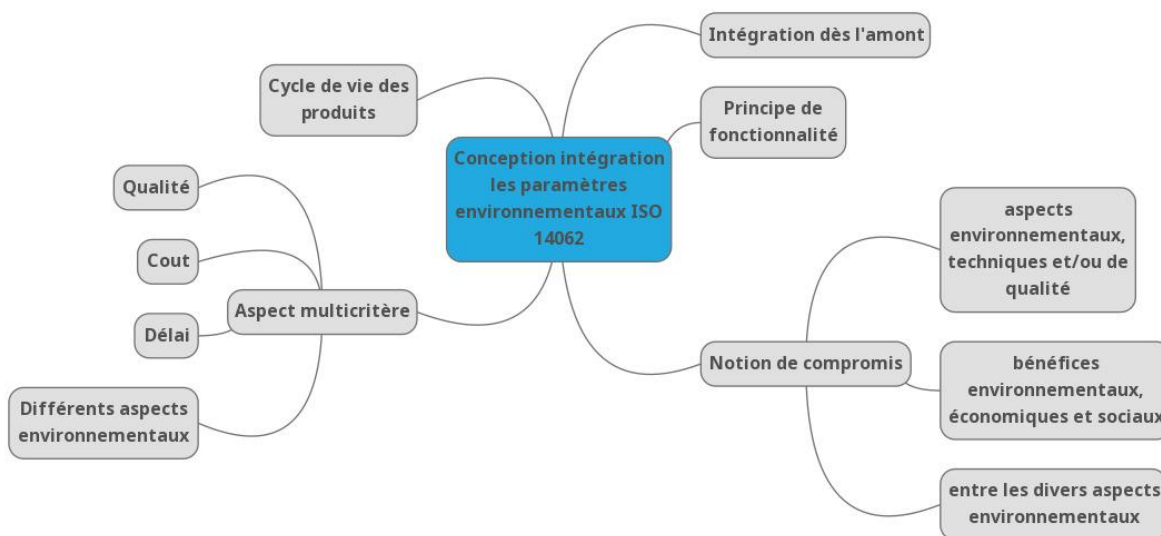


Figure 30. Principales entrées structurantes de la norme ISO 14062

Concevoir et mettre en œuvre une telle formation signifie qu'au niveau novice, les activités proposées doivent conduire les étudiants à développer des connaissances en conception mais aussi à s'approprier la notion de cycle de vie en mettant l'accent sur la pensée systémique et l'esprit critique [Baouch, 2016], [Luthe, 2017]. Ils doivent être capable d'évaluer l'impact économique, environnemental, technologique de leurs choix de conception sur la réalisation du produit [Margallo, 2019], [Viere, 2020] (Figure 31).

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Au niveau débutant avancé, les étudiants seront amenés à développer des compétences leur permettant de mener des ACV plus qualitatives [Neto, 2019] et d'avoir une vision plus globale de celles-ci [Banerjee, 2019]. Ils devront aussi être en mesure d'évaluer plus précisément les impacts de choix de conception sur des produits existants et éventuellement de leurs propres choix en utilisant des solutions logicielles d'analyse de cycle de vie de produit [Kattwinkel, 2020], [Brambila-Macias, 2021] (Figure 31).

Enfin, au niveau compétent l'étudiant en formation universitaire technologique devra renforcer sa maîtrise de l'écoconception en étant capable par exemple de suivre les normes telles que la [NF X30-264, 2013] qui permet de mener une démarche d'écoconception, ou la norme [ISO 14006, 2020] qui permet d'intégrer l'écoconception dans une entreprise [Staniskis, 2016]. Pour cela il faut ouvrir son champ de réflexion aux autres paramètres intervenants dans la conception pour proposer des solutions répondant au mieux à la soutenabilité visée [Pigosso, 2015], [Viere, 2020] (Figure 31).

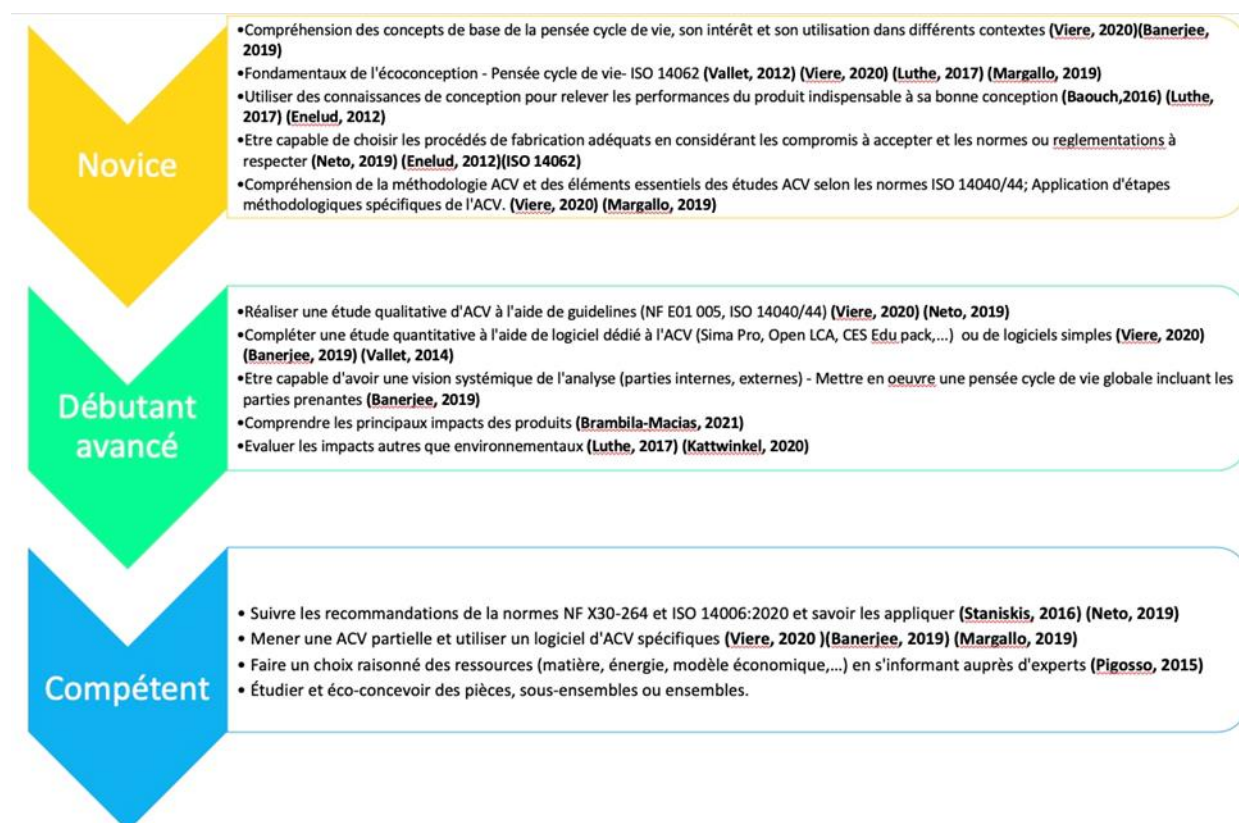


Figure 31. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux »

Comme la majorité des méta compétences (sauf anticipation) et des compétences techniques et transversales sont mises en jeu dans cette composante essentielle, il est nécessaire d'avoir commencé à les développer dans les composantes essentielles précédentes afin de pouvoir appliquer et exploiter au mieux dans le contexte d'un projet d'ingénierie durable.

Comme pour les composantes essentielles précédentes, nous avons identifié et formalisé des exemples de situations professionnelles en fonction du niveau de maîtrise attendu, ils sont présentés en Annexe 7.

4.4 Composante essentielle « En développant sa capacité d'innovation et de créativité au cours de projets d'ingénierie durable »

Les formations technologiques incluant des questions et des paramètres de durabilité concentrent leur action sur « *être conscient des impacts de la technologie sur l'humanité* » [Stables, 2009] or désormais pour répondre aux enjeux du changement climatique il faut former à « *anticiper et concevoir les impacts négatifs* » [Stables, 2009]. Pour répondre à ces enjeux, une nouvelle révolution industrielle semble inévitable et de nouvelles approches tant chez les industriels qu'en formation doivent être mises en œuvre pour mobiliser des compétences d'anticipation et de créativité [Empson *et al.*, 2019]. La compétence d'anticipation est multiple et renvoie à anticiper des futurs, anticiper des problèmes, anticiper des solutions, etc. et rend nécessaire que les étudiants soient proactifs et sortent des « sentiers battus » pour proposer de nouvelles solutions ou une autre vision du monde. Selon Ken Robinson, notre système actuel ne favorise pas le développement de l'anticipation et de la créativité mais au contraire formate les étudiants sur des modèles de pensée prédéfinis alors que chaque étudiant possède la capacité d'être créatif³⁵ [Robinson, 2006].

Ainsi, en termes d'apprentissages critiques pour la composante essentielle, cela peut se traduire à un niveau novice, par des activités pédagogiques qui conduiront les étudiants à prendre conscience qu'ils sont capables de faire preuve de créativité, à leur offrir la possibilité de proposer des solutions à des problèmes de durabilité au départ sans être contraints (laisser libre court à leur pensée) [Wiek, 2016]. L'objectif est de s'appuyer sur des critères environnementaux, sociaux, économiques à atteindre comme une force, un levier du changement et non comme une énième contrainte de conception supplémentaire dans la résolution de leur problème et l'anticipation de la portée de ses décisions [Graham, 2018], [Rubio, 2019] (Figure 32).

Au niveau débutant avancé, les étudiants mobiliseront les compétences précédemment travaillées en les opérationnalisant dans des projets d'ingénierie durable tout en utilisant des méthodes de créativité et d'innovation [Hadgraft, 2020]. Par exemple, une activité faisant appel à l'approche par problème contribuera à faire que les étudiants soient capables d'identifier le problème (root cause), d'analyser ce problème puis d'identifier, sélectionner, et mettre en œuvre une stratégie de résolution créative en réfléchissant « out of the box » [Liebert, 2013] (Figure 32).

Enfin, au niveau compétent, les étudiants seront amenés à anticiper et transformer leurs idées créatives en proposition d'innovation mais aussi à questionner les points forts et les axes d'amélioration des méthodes et des usages en cours en ingénierie durable pour éventuellement en imaginer et en proposer de nouveaux (Figure 32).

³⁵ « *A l'avenir, je crois que notre seul espoir est d'adopter une nouvelle conception de l'écologie humaine, dans le but de repenser notre vision de la richesse des capacités humaines. Notre système éducatif a miné notre esprit de la même façon que l'on extrait les ressources du sol terrestre* » [Robinson, 2006]

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

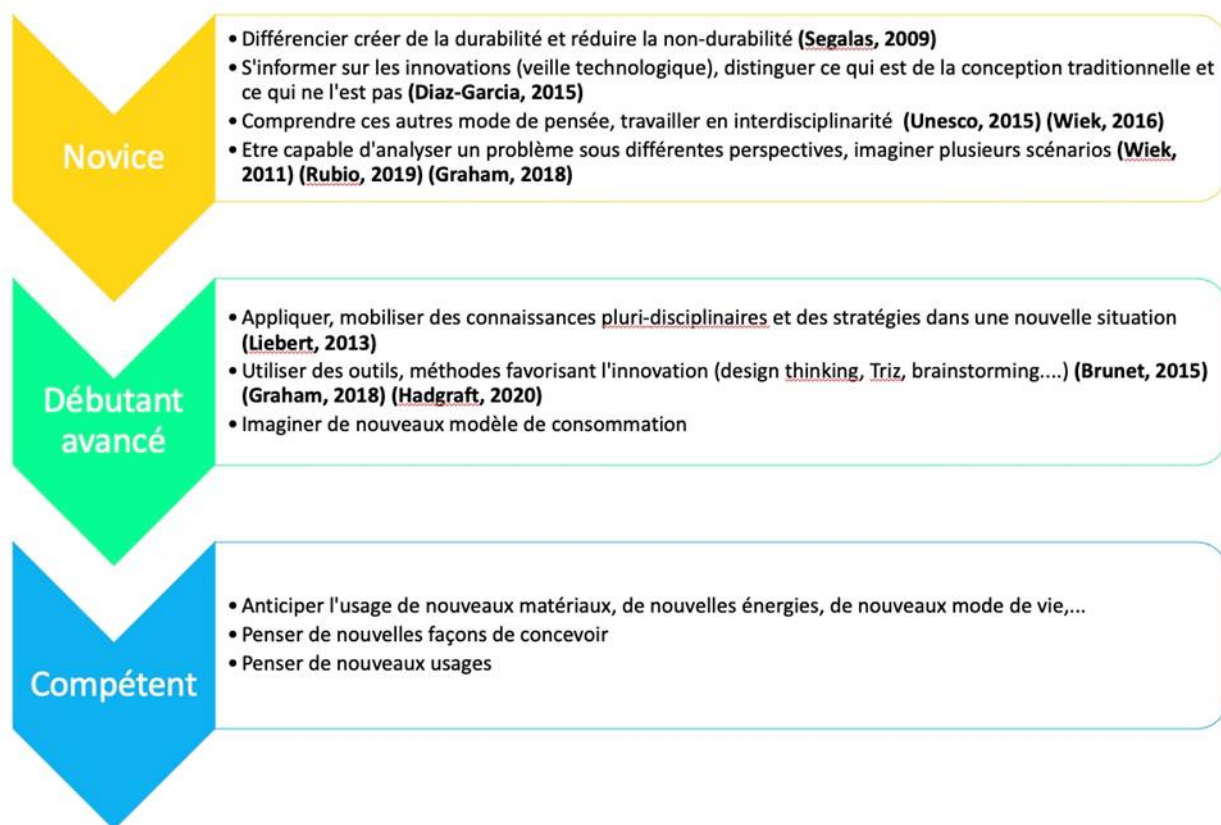


Figure 32. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En développant sa capacité d'innovation et de créativité au cours de projets d'ingénierie durable »

Toutes les compétences techniques et transversales sont mobilisées dans cette composante essentielle et les méta-compétences les plus fortement mises en jeu sont l'anticipation, l'esprit critique, la pensée systémique, la collaboration et la compétence stratégique.

Les situations d'apprentissage à développer pour favoriser l'anticipation et la créativité qui peuvent amener à des innovations technologiques, organisationnelles ou économiques doivent avoir au moins 3 objectifs pédagogiques principaux [Brunet, 2015] : « 1. clarifier les objectifs ou les objets techniques ; 2. libérer la pensée du carcan quotidien ; 3. favoriser l'émergence de solutions non triviales ». Pour ce faire, elles peuvent s'appuyer sur des outils et méthodes telles que : la pensée divergente/convergente [Guilford, 1950], le brainstorming [Osborn, 1948], le design thinking, la méthode TRIZ [Al'tshuller, 1999], la méthode des six chapeaux [De Bono, 1985], la méthode SCAMPER³⁶ [Eberle, 1972], la méthode SIT³⁷, etc. Les étudiants s'empareront progressivement de ces concepts à partir d'expériences pédagogiques en groupe permettant de favoriser la collaboration interdisciplinaire, la pensée critique, la pensée systémique et mettant en œuvre leur capacité à anticiper des actions, des solutions dans un monde que l'on caractérise de « VUCA »³⁸ à savoir volatile, incertain, complexe et ambiguë. Des exemples de situations pédagogiques relativement à cette composante essentielle sont proposés en Annexe 8.

³⁶ Substitute- Combine- Adapt- Magnify- Put to other uses- Eliminate- Rearrange

³⁷ Systematic Inventive Thinking

³⁸ Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

La dernière étape dans une formation quelle qu'elle soit est de pouvoir mettre en pratique les connaissances et compétences acquises au cours de la formation dans un véritable contexte industriel. La dernière composante essentielle va donc concerner cette réalité et ne sera donc réellement envisagée qu'à partir des premières mises en stage des étudiants qui leur offriront les terrains d'expérimentation réels.

4.5 Composante essentielle « En intégrant pleinement la soutenabilité dans un contexte industriel »

Après avoir validé des compétences à différents niveaux taxonomiques dans toutes les composantes essentielles précédentes, la dernière étape de la formation va consister à les mettre en œuvre dans le cadre d'une expérience de terrain réelle (stage, contrat d'apprentissage ou d'alternance, service civique, etc.). La prise de décision à caractère soutenable dans un environnement industriel repose sur un niveau de maîtrise minimum des concepts de durabilité, d'éthique et d'écoconception. Cette composante essentielle permettra de consolider les compétences de collaboration pour le travail à mettre en place avec les parties prenantes du projet, la pensée systémique au cœur de la norme [ISO 26000, 2010] et la compétence stratégique.

La première étape lorsque l'étudiant est plongé dans le monde industriel, qui correspond à un niveau novice de la composante essentielle, est sa prise de conscience de ce qu'est un contexte industriel et notamment des cadres législatifs et normatifs dans lesquels il s'inscrit. Pour mener des actions de soutenabilité au sein d'une entreprise il est nécessaire de connaître les principales lois, règles et normes qui régissent le quotidien de l'entreprise, notamment la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) et le management environnemental des entreprises (SME) [Staniskis, 2016] (Figure 33).

Lorsque l'étudiant a pris la mesure et est imprégné du contexte professionnel, il peut envisager intégrer des équipes projets et mener des activités d'ingénierie qui lui permettront d'opérationnaliser les connaissances et compétences acquises. Nous sommes ici à un niveau de formation débutant avancé qui requiert notamment des compétences en termes de travail collectif et de collaboration avec toutes les parties prenantes internes et externes de l'entreprise mais aussi en termes de capacité à identifier le rôle et le besoin de chacun [El-Zein, 2008] (Figure 33).

Enfin, l'étudiant atteindra un niveau compétent lorsqu'il sera amené, au cours d'une mission au sein de l'entreprise, à piloter un projet de conception de produit intégrant l'ensemble des enjeux et problématiques de durabilité ou un projet de transformation obligeant la mise en œuvre de la RSE ou du SME. Il faudra alors convoquer toutes les compétences acquises dans les autres composantes essentielles pour valider pleinement le bloc de compétence Ingénierie durable [De Vere, 2009], [Mulder, 2017] (Figure 33).

Des exemples de situations pédagogiques relativement à cette composante essentielle sont proposés en Annexe 9.

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

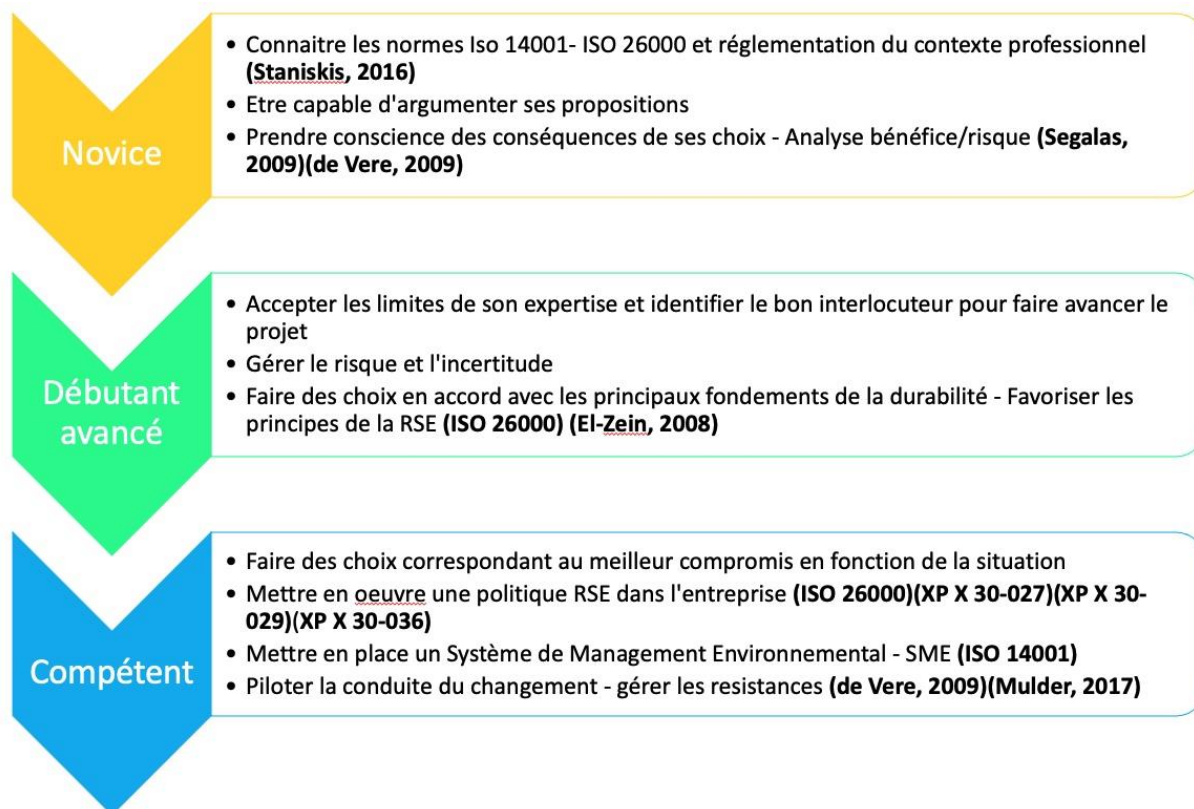


Figure 33. Apprentissages critiques pour la composante essentielle « En intégrant pleinement la soutenabilité dans un contexte industriel »

5 Étape 6 : sélection des ressources

L'identification des compétences doit permettre de définir plus précisément les connaissances que l'étudiant doit maîtriser pour répondre aux problèmes posés. Ainsi, pour accompagner les étudiants dans la résolution de ces problèmes, l'équipe pédagogique doit identifier les différentes ressources nécessaires. « *Les ressources reprennent les savoirs, savoir-faire, attitudes professionnelles, normes, règles, schèmes, etc* » [Georges & Poumay, 2020].

Ces ressources peuvent être de 3 types : « *des ressources propres aux personnes (dont son champ d'expériences antérieures), des ressources spécifiques à certaines circonstances de la situation et de son contexte, et des ressources externes aux personnes, à la situation et à son contexte* » [Jonnaert, 2011]. Ainsi ces ressources peuvent se classer en 2 catégories les ressources internes et les ressources externes.

Les ressources internes feront appel aux acquis scolaires des étudiants mais également à ses intérêts, ses expériences, ses valeurs, sa curiosité. Elles relèvent du domaine cognitif, du domaine social, du domaine affectif et du domaine moteur. Les ressources externes sont constituées par les supports apportés par les professeurs, les pairs, les ressources documentaires, les professionnels d'un domaine...Elles peuvent être physiques, humaines ou temporelle [Basque, 2015].

Ainsi l'étudiant construira « *une combinatoire particulière de multiples ingrédients qui auront été triés à bon escient* » [Le Boterf, 2015] pour construire une compétence.

6 Synthèse du bloc de compétences Ingénierie durable

Le bloc de compétences « ingénierie durable » que nous avons défini s'appuie sur les valeurs, les méta compétences de la durabilité et les compétences décrites dans les différents référentiels des organismes d'accréditation (Figure 26) et s'articule autour de 5 composantes essentielles (Figure 27). Ce bloc a vocation à s'insérer dans une offre de formation en ingénierie, à côté d'autres blocs de compétences plus « disciplinaires », des blocs « recherche » ou « langue vivante », etc. Dans notre bloc, les composantes essentielles 1 et 2 vont contribuer à ce que les étudiants acquièrent des connaissances et des compétences générales sur le développement durable. Les composantes essentielles 3 et 4 permettront d'ancrer la notion de développement durable vers des aspects plus techniques relatifs aux domaines disciplinaires présents dans le cursus de l'étudiant. Pour chacune des composantes, les situations professionnelles identifiées par l'enseignant doivent être perçue comme « un espace de liberté pédagogique » (chaque enseignant faisant ses propres choix) ce qui offre un panel de programmes de formations très large. Cette diversité de situations permet d'évaluer la bonne interprétation des compétences par les étudiants mais aussi par les enseignants. Enfin la dernière composante essentielle doit permettre d'opérationnaliser ces compétences dans un milieu industriel. L'usage de ces compétences dans de réelles situations professionnelles permettra d'évaluer l'atteinte d'un niveau compétent qui pourra évoluer vers les niveaux avancé et expert dans le cadre de la formation tout au long de la vie.

Pour faciliter le suivi de la progression individuelle des étudiants, nous avons présenté le bloc sous la forme d'une matrice de compétences qui reprend l'ensemble des éléments décrit précédemment (Figure 35). Dans cette matrice chaque compétence est identifiée selon le codage suivant (Figure 34) :

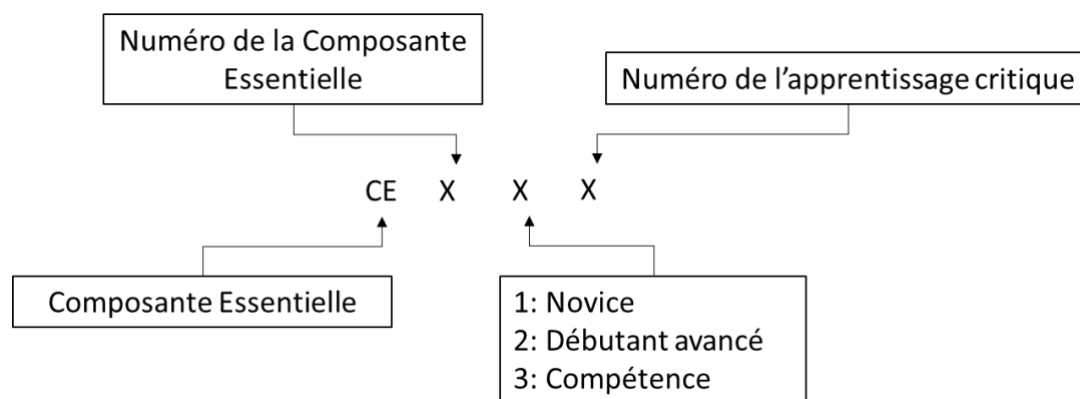


Figure 34. Codage utilisée pour la matrice des apprentissages critiques

Les enseignants peuvent utiliser cette matrice pour identifier les apprentissages critiques et les compétences qu'ils souhaitent travailler avec leurs étudiants et les composantes essentielles de celles-ci au niveau taxonomique qui convient. Cette matrice, si elle est utilisée comme un portfolio de compétences individuel pour les étudiants, peut aussi être un outil de suivi de la progression de l'étudiant exploité par l'étudiant, par l'enseignant et par l'établissement en vue de la diplomation.

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Compétence	Novice			Débutant avancé			Compétent		
	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation
Composante essentielle 1	CE1-1-1			CE1-2-1			CE1-3-1		
	CE1-1-2			CE1-2-2			CE1-3-2		
	CE1-1-3			CE1-2-3			CE1-3-3		
	CE1-1-4			CE1-2-4			CE1-3-4		
	CE1-1-n			CE1-2-n			CE1-3-n		
Composante essentielle 2	CE2-1-1			CE2-2-1			CE2-3-1		
	CE2-1-2			CE2-2-2			CE2-3-2		
	CE2-1-3			CE2-2-3			CE2-3-3		
	CE2-1-4			CE2-2-4			CE2-3-4		
	CE2-1-n			CE2-2-n			CE2-3-n		
Composante essentielle 3	CE3-1-1			CE3-2-1			CE3-3-1		
	CE3-1-2			CE3-2-2			CE3-3-2		
	CE3-1-3			CE3-2-3			CE3-3-3		
	CE3-1-4			CE3-2-4			CE3-3-4		
	CE3-1-5			CE3-2-5			CE3-3-5		
Composante essentielle 4	CE4-1-1			CE4-2-1			CE4-3-1		
	CE4-1-2			CE4-2-2			CE4-3-2		
	CE4-1-3			CE4-2-3			CE4-3-3		
	CE4-1-4			CE4-2-4			CE4-3-4		
	CE4-1-n			CE4-2-n			CE4-3-n		
Composante essentielle 5	CE5-1-1			CE5-2-1			CE5-3-1		
	CE5-1-2			CE5-2-2			CE5-3-2		
	CE5-1-3			CE5-2-3			CE5-3-3		
	CE5-1-n			CE5-2-n			CE5-3-n		

Figure 35. Matrice des apprentissages critiques du bloc « ingénierie durable »

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Une synthèse de nos propositions définissant les éléments constitutifs d'un cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques peut prendre la forme du modèle ROSET ci-dessous (**f**ramework **O**f **S**ustainable **E**ngineering **T**raining) (Figure 36). Nous retrouvons sur ce modèle les méta compétences, les composantes essentielles et les niveaux d'acquisition (ou taxonomique) par composante essentielle.

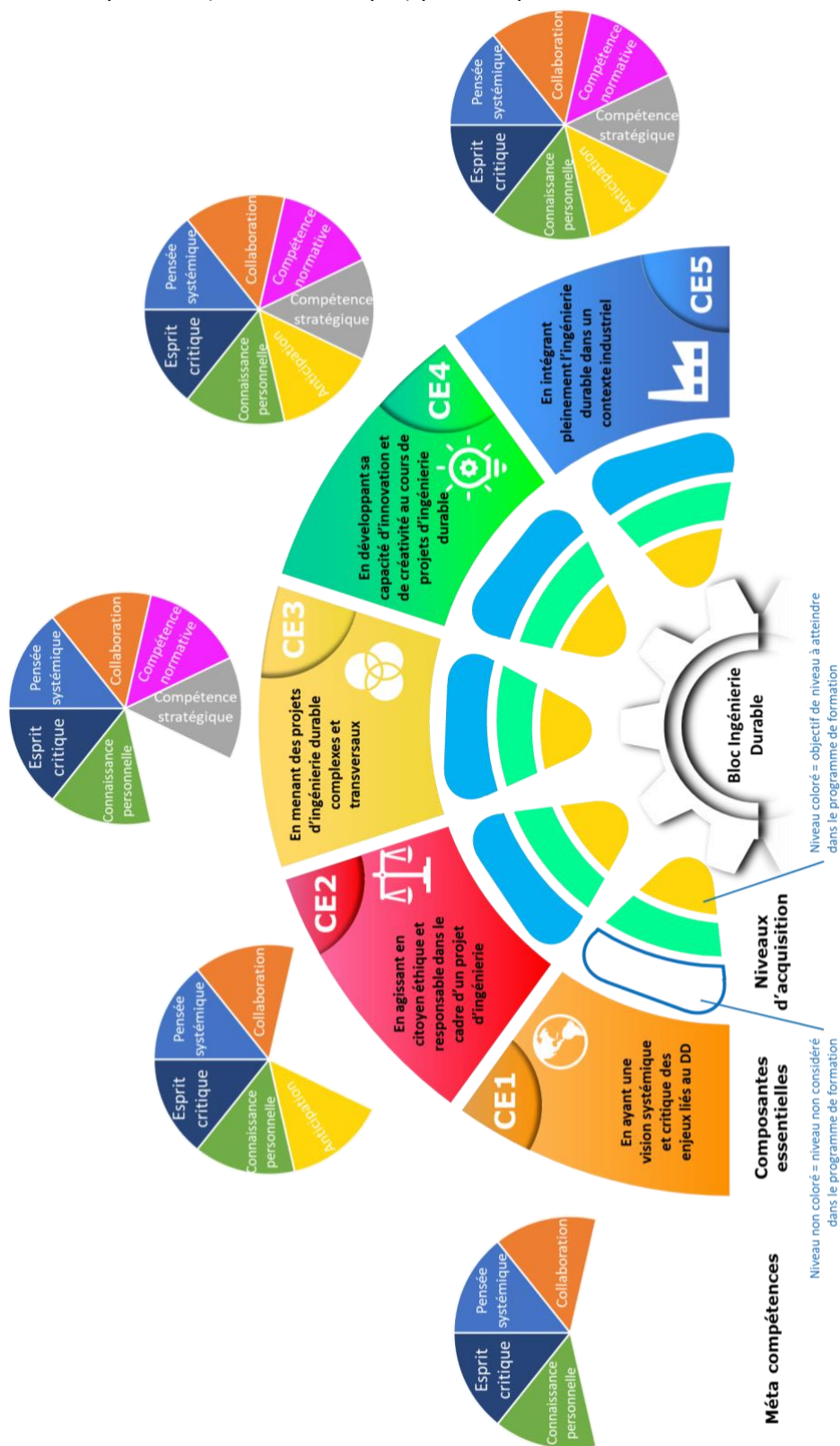


Figure 36. Cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques - Modèle ROSET

Chapitre 3. Définition d'un cadre de compétences pour intégrer l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur

Dans le chapitre suivant, nous allons mettre en évidence les exploitations possibles du modèle ROSET en présentant des activités de formation par niveau de maîtrise qui ont toutes pour thématique principale l'écoconception.

Chapitre 4. Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

1 Introduction

Dans le chapitre 2 nous avons proposé une démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme (Figure 9). Nous allons préciser dans ce chapitre comment cette démarche doit être mise en œuvre par les équipes enseignantes pour concevoir une offre de formation et comment cette offre sera ensuite déployée. Nous nous attacherons à montrer comment notre cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques - Modèle ROSET (Figure 36) peut être utilisé lors de la conception de l'offre de formation mais aussi lors de son déploiement, notamment lorsque les enseignants seront amenés à concevoir leurs activités pédagogiques, à les mener auprès des étudiants et à les évaluer.

2 Exploitation du modèle ROSET lors de la conception d'une offre de formation

La démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme (Figure 9) que nous avons proposée permet de structurer et de définir les grandes lignes du programme de formation. Cette démarche doit conduire à : 1. la définition d'un profil de diplômé, 2. la définition des compétences à développer et la structuration de l'offre, 3. l'évaluation des compétences (Figure 37) :

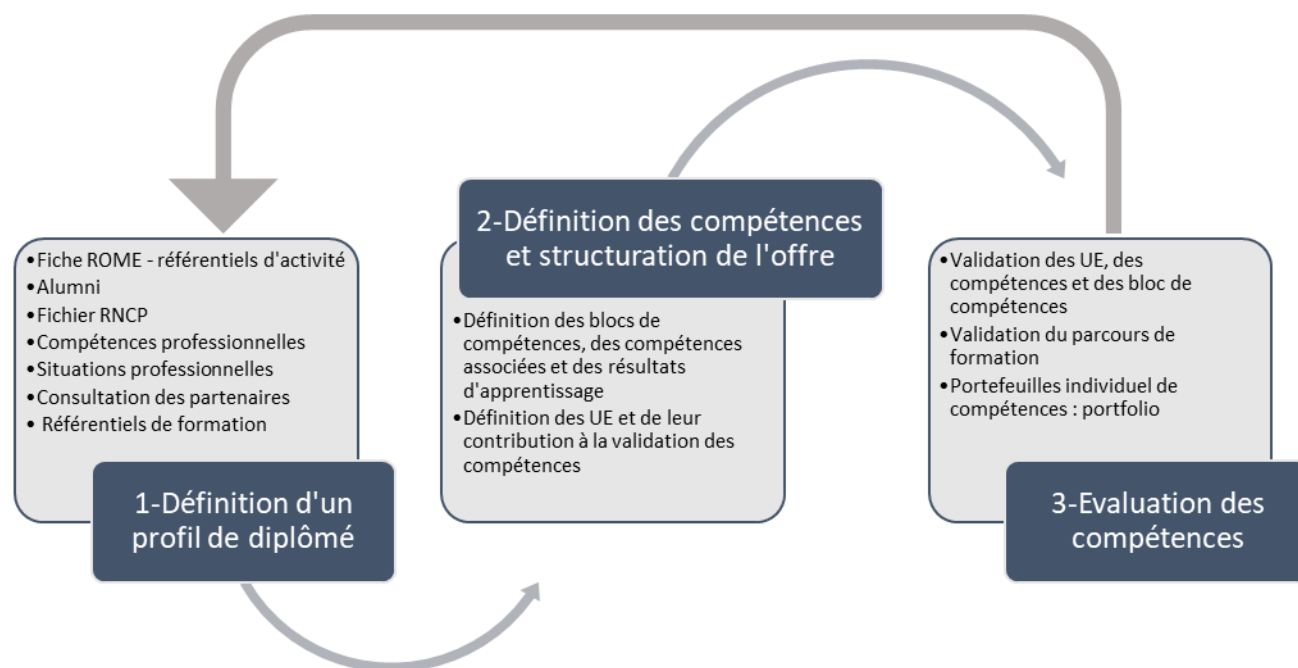


Figure 37. Etapes opérationnelles de la démarche pour la conception d'une offre de formation intégrant les approches par compétence et programme

2.1 Définition d'un profil de diplômé

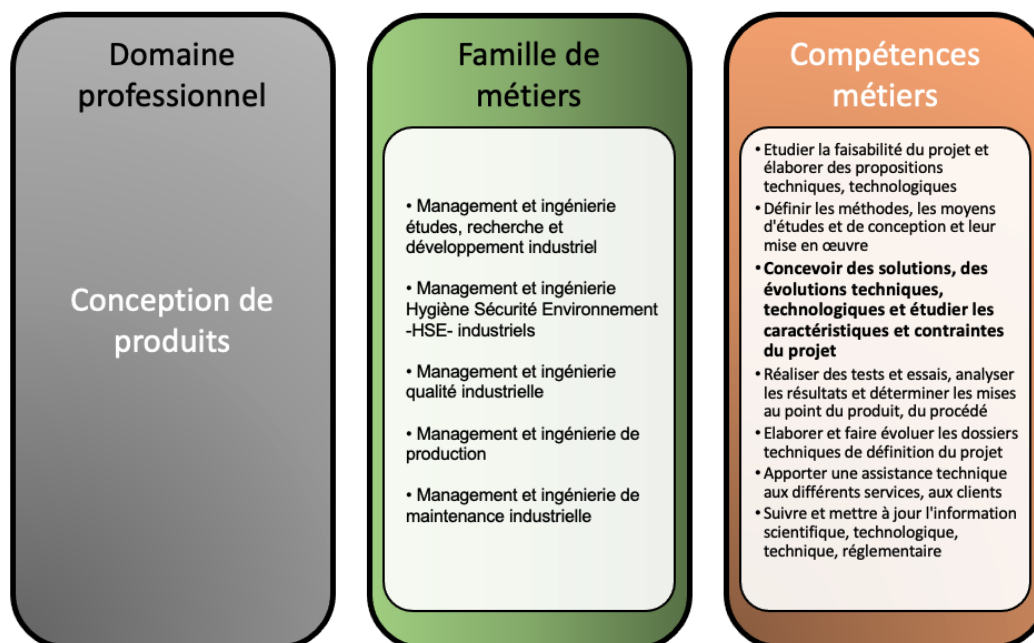


Pour définir correctement le référentiel de compétences d'une formation, il convient de s'interroger sur le profil de diplômé attendu en sortie de formation. Ce référentiel étant un « *descriptif global des compétences attendues d'un étudiant à la fin d'une formation ou d'une partie de formation* » [Postiaux et al., 2010], il est donc une image du profil des étudiants diplômés. Ce profil doit être en adéquation avec les attentes des acteurs du monde professionnel vers lequel les étudiants de l'établissement porteur de la formation s'orientent. Il est donc nécessaire de s'intéresser au référentiel d'activité pour

identifier les besoins en termes de compétences des professionnels dans leur secteur d'activité. Ce référentiel décrit les situations de travail et les activités exercées, les métiers ou emplois visés, et donc le milieu professionnel dans lequel seront exercés les métiers visés par le diplômé. Il est construit en suivant la démarche en 3 étapes :

- 1- Définition du domaine professionnel et collecte des données
- 2- Recensement des principaux métiers : analyse des données collectées
- 3- Identification et regroupement des compétences-métiers

En France, cette démarche conduit à la production des fiches ROME (Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois). Nous trouvons le même type de documents au niveau européen avec l'ESCO (European Skills, Competences, Qualifications, and Occupations) et au niveau international avec l'ISCO (International Standard Classification of Occupations) piloté par l'organisation mondiale du travail des Nations Unies. La Figure 38 illustre ces trois étapes de définition de profil dans le domaine de la conception de produits qui correspond à l'un des secteurs d'activité dans lequel un étudiant diplômé en sciences de l'ingénieur pourrait évoluer.



Source: http://rome.adem.public.lu/fiches_rome/H1206.html

Figure 38. Compétences professionnelles issues des fiches ROME dans le domaine de la conception de produits

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

En général, ce référentiel reste sur de grandes compétences recherchées par les entreprises dans leur processus de recrutement (voir par exemple les codes ROME associés pour un diplômé en BUT GMP - Annexe 10). Elles peuvent être affinées par l'étude des demandes faites lors des stages étudiants qui définissent plus précisément le besoin des entreprises. Elles sont également affinées en établissant un dialogue avec les partenaires industriels du secteur vers lequel les étudiants se destinent dans leur insertion professionnelle et avec le réseau des alumni. Les offres de stage peuvent aussi participer de la meilleure compréhension des attentes des entreprises. Ces compétences servent d'appui aux universités ou école pour construire leur offre de formation en corrélation également avec les attendus fixés par les référentiels de compétences du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche pour les licences, les programmes pédagogiques nationaux pour les IUT ou encore les organismes d'accréditation permettant de délivrer un diplôme d'ingénieur.

Au cours de cette phase de définition du profil des diplômés, le modèle ROSET peut être utilisé puisqu'il s'appuie sur un travail de recensement et de synthèse des compétences nécessaires pour que le diplômé ait des compétences en ingénierie durable. Ainsi, les directeurs d'établissements du supérieur et de composantes de formation, les responsables de formation et d'équipe pédagogique peuvent exploiter notre synthèse des compétences et valeurs à intégrer dans les programmes de formation en ingénierie durable (Figure 26), compléter le profil de compétences de leurs diplômés.

Lorsque les compétences professionnelles sont identifiées et que les attentes en termes d'employabilité sont définies, il est alors possible de passer à l'étape suivante : la structuration de l'offre de formation.

2.2 Définition des compétences à développer et structuration de l'offre

2-Définition des compétences et structuration de l'offre

- Définition des blocs de compétences, des compétences associées et des résultats d'apprentissage
- Définition des UE et de leur contribution à la validation des compétences

La phase de définition des compétences à développer et de structuration de l'offre de formation correspond au moment au cours duquel les équipes pédagogiques vont s'attacher à identifier tous les blocs de compétences qui doivent être présents dans le programme de formation pour que les étudiants qui suivent ce programme puissent avoir le profil attendu à la fin de leur formation. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, les enseignants peuvent avoir différentes approches pour structurer leur formation mais nous préconisons une démarche qui s'appuierait sur

l'approche par compétence et l'approche programme. En suivant de telles approches, le bloc de compétences « ingénierie durable » sera donc un bloc parmi d'autres, dans l'ensemble des blocs de compétences qui vont caractériser le programme de formation. Les équipes enseignantes qui souhaiteraient intégrer ce bloc dans leur cursus pourront s'appuyer sur le modèle ROSET pour identifier et retenir dans leur programme de formation les composantes essentielles et les compétences (Figure 27) qu'ils pensent être les plus adaptées aux objectifs de la formation et au niveau des étudiants. Les maquettes des formations du supérieur en France étant organisées en Unités d'Enseignement (la terminologie peut varier d'un établissement à l'autre), les compétences, dont celles définies dans le modèle ROSET, vont se retrouver disséminées dans les UE du programme. Chaque UE peut contribuer à l'atteinte de tout ou partie de plusieurs compétences car une UE n'est pas un bloc de compétence. Une

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

compétence peut être travaillée, mobilisée et réinvestie dans plusieurs UE, et l'évaluation de la compétence sera donc faite de façon transversale entre les UE.

Les apprentissages critiques et autres compétences décrits dans la matrice que nous avons proposée, pour chaque niveau taxonomique (Figure 35), n'ont pas forcément tous vocation à se retrouver dans une même formation. Néanmoins, le modèle ROSET et la matrice ont été développés en perspective d'une intégration dans un continuum de formation sur 2, 3 ou 5 ans (écoles d'ingénieurs avec classe préparatoire intégrée par exemple), il serait donc normal que de nombreux apprentissages et compétences de notre modèle apparaissent explicitement dans les programmes et autres maquettes des formations.

2.3 Évaluation des compétences



Dès lors que tout ou partie des compétences décrites dans le modèle ROSET et la matrice de compétences sont présentes dans un programme de formation, elles seront obligatoirement évaluées. Lors de la conception d'une offre de formation, seules les lignes directrices du processus d'évaluation des compétences et de validation des UE seront décrites (modalités d'évaluation écrites ou orales, contrôle terminal ou continu, etc.). Les différentes évaluations peuvent apparaître dans un seul et même portefeuille de compétences (portfolio), propre

à chaque étudiant.

Le portfolio de compétences individuel est un outil de suivi en temps réel de l'évolution de la maîtrise des compétences de l'étudiant et, lorsque le programme sera terminé, il synthétisera l'ensemble des compétences :

- que l'étudiant a pu acquérir au niveau fixé au cours de la formation (cellules totalement colorées, par exemple CE1.1.1, sur la Figure 39),
- qui ont été abordées dans la formation mais que l'étudiant n'a pas validées (cellules « présence dans le cursus » colorée et « validation » en rouge, par exemple CE3.1.3, Figure 39),
- que l'étudiant n'a pas pu valider car non abordées au cours de la formation (ligne non colorée, par exemple CE5.3.4, Figure 39).

Les évaluations précises compétence par compétence et UE par UE seront formalisées par les équipes pédagogiques lors de la déclinaison plus opérationnelle de l'offre de formation. Nous décrirons cette étape dans la section suivante.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

	Novice			Débutant avancé			Compétent		
	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation
Composante essentielle 1	CE1-1.1	Oui	Oui	CE1-1.1	Oui	Oui	CE1-1.1	Oui	Oui
	CE1-1.2	Oui	Oui	CE1-1.2	Oui	Non	CE1-1.2	Oui	Oui
	CE1-1.3	Oui	Oui	CE1-1.3	Oui	Non	CE1-1.3	Oui	Non
	CE1-1.4	Oui	Non	CE1-1.4	Oui	Non	CE1-1.4	Oui	Non
Composante essentielle 2	CE1-1-n			CE1-2-n			CE1-3-n		
	CE2-1.1	Oui	Oui	CE2-1.1	Oui	Oui	CE2-1.1	Oui	Oui
	CE2-1.2	Oui	Oui	CE2-1.2	Oui	Oui	CE2-1-n		
	CE2-1.3	Oui	Non	CE2-1.3	Oui	Non			
Composante essentielle 3	CE2-1.4	Oui		CE2-1.4					
	CE2-1-n			CE2-2-n					
	CE3-1.1	Oui	Oui	CE3-1.1	Oui	Oui	CE3-1.1	Oui	Oui
	CE3-1.2	Oui	Oui	CE3-1.2	Oui	Oui	CE3-1.2	Oui	Oui
Composante essentielle 4	CE3-1.3	Oui	Non	CE3-1.3	Oui	Non	CE3-1.3	Oui	Non
	CE3-1.4	Oui		CE3-1.4			CE3-1.4		
	CE3-1.5			CE3-2.5			CE3-3-n		
	CE3-1-n			CE3-2-n					
Composante essentielle 5	CE4-1.1	Oui	Oui	CE4-1.1	Oui	Oui	CE4-1.1	Oui	Oui
	CE4-1.2	Oui	Oui	CE4-1.2	Oui	Non	CE4-1.2	Oui	Non
	CE4-1.3	Oui	Non	CE4-1.3			CE4-1.3	Oui	Non
	CE4-1.4	Oui	Non	CE4-2-n			CE4-3-n		
Intégrer pleinement l'ingénierie et de créativité au cours de projets	CE5-1.1	Oui	Oui	CE5-1.1	Oui	Oui	CE5-1.1	Oui	Non
	CE5-1.2	Oui	Oui	CE5-1.2			CE5-1.2	Oui	Non
	CE5-1.3	Oui	Oui	CE5-2.3	Oui	Non	CE5-3.3		
	CE5-1-n			CE5-2-n			CE5-3.4		
							CE5-3-n		

Figure 39. Exemple de matrice des apprentissages critiques et de compétences de fin de cursus pour un étudiant

3 Exploitation du modèle ROSET lors de la mise en œuvre d'une offre de formation

Lorsque la définition d'un profil de diplômé, des composantes essentielles, des compétences à développer et de la structuration de l'offre sont effectives, que les modalités générales de l'évaluation des compétences sont identifiées, et enfin que l'ensemble de ces éléments est validé par l'organisme d'accréditation, il va alors être possible de passer à la phase de mise en œuvre de l'offre de formation. Au cours de cette phase, les équipes pédagogiques vont travailler à : 1. l'organisation de l'offre de formation, 2. La définition du dispositif pédagogique, 3. L'évaluation des étudiants et de l'offre (Figure 40).

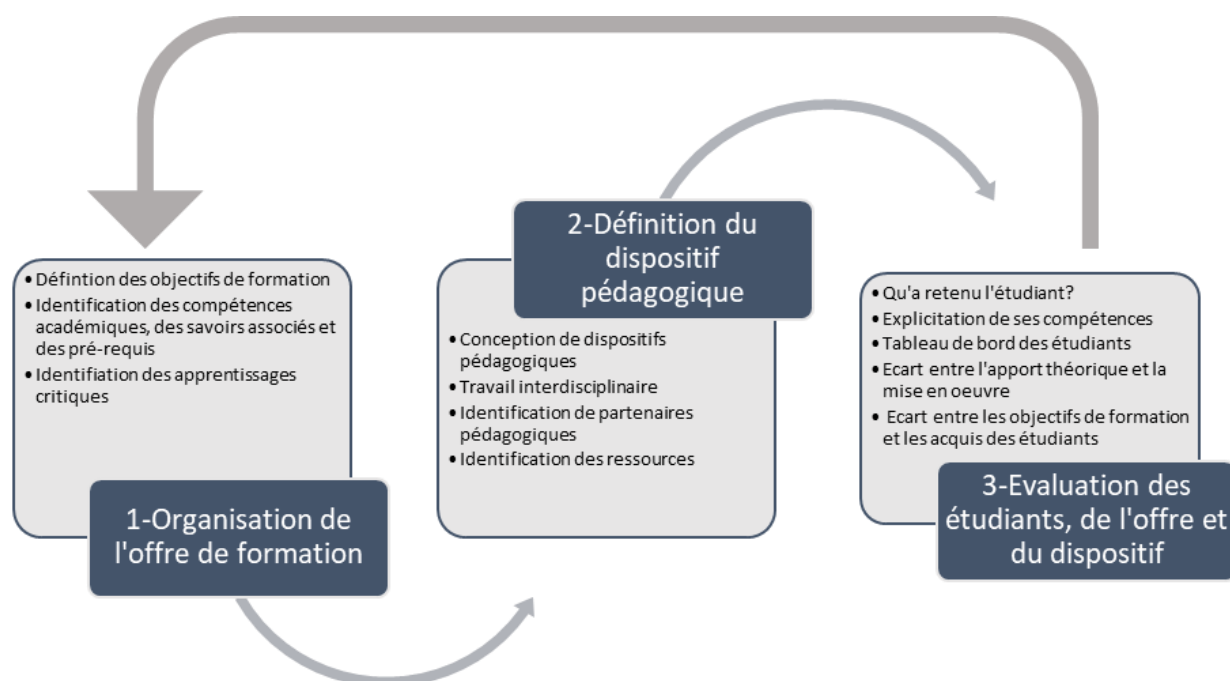


Figure 40. Etapes opérationnelles de la démarche de mise en œuvre d'une offre de formation

3.1 Organisation institutionnelle de l'offre de formation



Sur la base de la maquette de formation conçue par les équipes pédagogiques, soumises pour avis par l'établissement aux organismes d'accréditation et validée par ces mêmes organismes, les enseignants vont devoir décliner UE par UE, module de cours par module de cours les objectifs de formation en sous-objectifs, et associer les compétences professionnelles aux compétences académiques qui doivent correspondre au profil de sortie des étudiants. Tout l'enjeu de cette étape est de « rendre fonctionnelle la relation entre savoirs théoriques et mise en œuvre de pratiques professionnelles » [Chauvigné & Coulet, 2010].

3.1.1 Définition des objectifs de formation

Les objectifs de formation doivent permettre de définir les capacités détenues par l'étudiant à l'issue de sa formation. Pour définir ces objectifs, il faut composer chaque objectif en objectifs pédagogiques qui fixeront des apprentissages critiques permettant d'avoir des

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

observables et des métriques pour évaluer la maîtrise des compétences et des connaissances associées. L'équipe doit alors structurer et organiser ces objectifs de formation tout au long du programme de formation en identifiant les prérequis pour engager une activité et les attendus minimaux à la fin de celle-ci nécessaires pour passer à la suivante.

Dans les formations universitaires, une liberté assez large est laissée aux équipes pédagogiques pour construire leur parcours de formation. De grandes lignes sont en général prédéfinies mais les équipes et les enseignants sont ensuite libres de définir dans le détail leur objectifs pédagogiques. Ils sont souvent établis en fonction d'habitudes ou d'usages locaux, liés aux champs disciplinaires enseignés, aux moyens humains, matériels et financiers à disposition, etc. et les approches peuvent ainsi fortement varier d'une université à une autre. Néanmoins, les formulations d'objectifs de formations sont généralement assez génériques et larges pour ne pas être trop contraignantes pour les enseignants et facilement accessibles pour n'importe quel enseignant et/ou étudiant. Pour illustrer notre propos nous avons repris ci-dessous la formulation des objectifs d'apprentissages du cursus de formation « *CMI*³⁹-*Parcours génie Mécanique de l'université de Poitiers* » :

1. Acquérir des connaissances et des compétences tant sur le plan scientifique que technologique, susceptibles de favoriser l'émergence des produits industriels innovants et à forte valeur ajoutée. Au cours de leur formation, les étudiants auront acquis des connaissances et des compétences scientifiques et techniques liées à la phase d'industrialisation des produit mécaniques.
2. Acquérir des connaissances dans le domaine du management, de la gestion de production, du droit social et de l'anglais.
3. Donner aux étudiants les compétences caractérisant le métier d'ingénieur auquel ils sont formés.

Par ailleurs, il existe différentes méthodes pour définir des objectifs de formations. Nous avons choisi ici de présenter la méthode SMART et l'identification d'un objectif à partir d'un programme institutionnel.

3.1.1.1 Méthode SMART pour définir l'objectif de formation

Pour aider les équipes pédagogiques à formuler leurs objectifs d'apprentissage en cohérence avec les compétences à développer chez leurs apprenants, la méthode SMART, initialement créée pour le management par [Doran, 1981] peut être utilisée. Dans le cadre de la technique SMART, les objectifs doivent être :

- **Spécifique** : un objectif doit être en lien direct avec la formation de la personne chargée de réaliser l'objectif, il est formulé du point de vue de l'étudiant. Il doit être simple à comprendre, clair, précis et compréhensible par la personne. De plus, il doit être compréhensible également par tous pour que l'objectif ait une légitimité aux yeux de tous.
- **Mesurable** : il doit être quantifié ou qualifié. La définition d'un seuil est nécessaire afin de savoir quel est le niveau à atteindre et apporter les corrections nécessaires si des difficultés apparaissent.

³⁹ CMI : Cursus Master d'Ingénierie (<https://sfa.univ-poitiers.fr/mecanique/master-genie-mecanique/>)

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

- **Acceptable/Atteignable/Ambitieux** : un objectif acceptable est un objectif suffisamment grand, ambitieux pour qu'il représente un défi et qu'il soit motivant et atteignable.
- **Réalisable** : l'étudiant doit être en mesure d'atteindre l'objectif. Il faut donc une cohérence dans le parcours de formation et prendre en compte les prérequis nécessaires.
- **Temporellement défini** : il est limité et organisé dans le temps.

Cette technique consiste à rédiger un intitulé d'objectif en étant attentif au fait que la description finalement retenue respecte scrupuleusement toutes les préconisations « SMART ». L'exemple ci-dessous met évidence comment des parties de l'intitulé de l'objectif de formation sont associées aux critères S.M.A.R.T (lettres en gras dans le texte).

Exemple d'objectif d'apprentissage SMART :

Les étudiants qui terminent ce module (**T**) apprendront les principes, les indicateurs et le concept général de la durabilité (**M**). L'étudiant devra être capable (**S**):

- D'appréhender les impacts locaux, régionaux et mondiaux de la conception des produits et/ou processus non durables en réalisant une étude de cas (**R**)
- D'appliquer les concepts de durabilité en ingénierie dans un projet (**R/A**)

La technique SMART peut se révéler très utile pour les équipes pédagogiques qui doivent définir précisément le contenu d'une formation pour laquelle les contenus pédagogiques ne seraient pas déjà orientés ou guidés par des exigences de programmes nationaux.

3.1.1.2 Identification d'un objectif à partir d'un programme institutionnel

Lorsque les programmes sont définis soit par l'établissement au niveau local soit par différentes instances au niveau national comme c'est le cas pour les sections de techniciens supérieur (STS) ou les BUT⁴⁰ par exemple, des documents supports contenant des éléments de structuration pédagogique sont à disposition des équipes pour les guider dans la définition des objectifs pédagogiques. Ils peuvent soit les considérer tel quel soit éventuellement les ajuster à la marge. L'une des difficultés qui peut parfois survenir pour l'équipe pédagogique est de bien comprendre l'objectif formulé. Pour illustrer ce que peut être un objectif pédagogique dans un programme national, nous avons sélectionné un objectif mentionné dans le nouveau programme du BUT, en application à la rentrée de Septembre 2021 :

BUT GMP : « Les titulaires du B.U.T. Génie Mécanique et Productique sont des généralistes des industries mécaniques quel que soit le secteur d'activité, capables d'assurer la mise sur le marché d'un nouveau produit au travers des trois premières étapes de son cycle de vie : conception pour définir le produit, industrialisation pour développer les procédés de fabrication et d'assemblage, et enfin organisation industrielle pour organiser des lignes de production »

L'analyse de ce texte introductif présentant l'objectif de formation du BUT montre que les rédacteurs sont partis des éléments présents dans les fiches Rome qui définissent le profil des

⁴⁰ BUT : Bachelor Universitaire de Technologie

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

futurs diplômés (Annexe 10) pour donner les grandes orientations de l'objectifs et ont ensuite proposé une première décomposition en sous-objectifs qui représentent les compétences professionnelles visées sur la base de laquelle il sera possible d'associer des compétences académiques afin de former à ces compétences professionnelles (Figure 41).

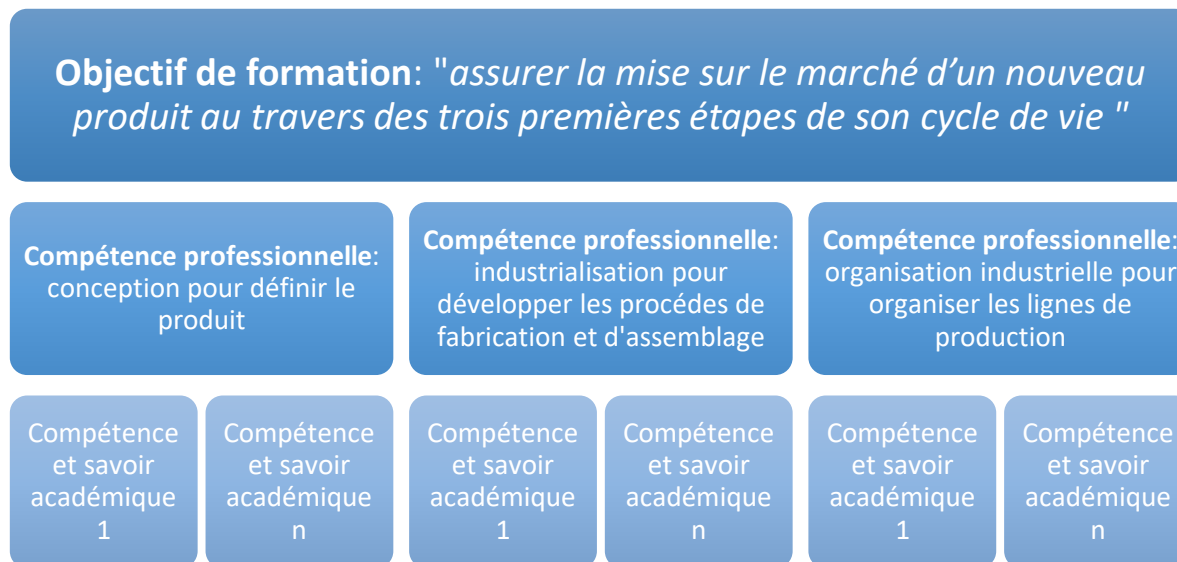


Figure 41. Décomposition d'un objectif général de formation du BUT GMP

Pour chaque objectif de formation, les enseignants ont ensuite un travail de décomposition à réaliser pour identifier les compétences académiques, les savoirs associés et les prérequis correspondants aux compétences professionnelles.

3.1.2 Identification des compétences académiques, des savoirs, des prérequis et des apprentissages critiques associés

Une fois l'objectif clairement défini ou identifié, le choix des compétences académiques travaillées peut s'effectuer. Dans le cadre de l'ingénierie durable, nos travaux dans le chapitre 3 ont mis en évidence que les compétences académiques doivent à la fois être relatives au champ technologique et disciplinaires étudiés mais également permettre d'intégrer le développement durable et les compétences spécifiques (notamment transversales) qui le favorisent. Sur cette base, le modèle ROSET peut être utilisé comme référentiel de compétences pour l'ingénierie durable dans une formation. Pour identifier la ou les composantes essentielles qui seront visées au cours de l'activité de formation proposée, on peut utiliser la matrice des apprentissages critiques et des compétences du bloc ingénierie durable (Figure 35). Elle permet d'identifier les compétences du référentiel d'ingénierie durable qui seront travaillées et d'avoir un visuel des compétences visées (Figure 42). Comme nous avons cherché à avoir une certaine cohérence et à construire une progressivité dans les apprentissages critiques entre les niveaux (quand cela été possible), la matrice permet également d'identifier les prérequis nécessaires pour passer d'une compétence à une autre.

Dans l'exemple ci-après (Figure 42), il est indiqué dans la colonne du niveau novice que des apprentissages critiques présents dans l'offre de formation ont déjà été validés par les étudiants. Cela signifie qu'ils ont suivi et validé des UE qui permettaient de travailler des

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

composantes essentielles et donc des compétences au cours de semestres précédents. Ces compétences identifiées et validées au niveau novice signifient qu'elles peuvent être considérées comme acquises par les étudiants et qu'elles sont autant d'éléments de base (les prérequis) sur lesquels s'appuyer pour aller plus loin au niveau débutant avancé. Les enseignants devront donc être attentifs à développer des situations pédagogiques partant de ces prérequis, permettant d'atteindre le niveau débutant avancé et donc de faire monter en compétences les étudiants sur ces composantes essentielles. Ils seront aussi attentifs à ancrer les apprentissages critiques et les compétences en ingénierie durable dans la spécialité d'enseignement technologique qui est la leur et à s'appuyer sur des situations professionnelles adaptées. Lorsque les compétences académiques, les savoirs, les prérequis et les apprentissages critiques associés sont identifiés, les enseignants peuvent s'attacher à élaborer des dispositifs pédagogiques permettant de mettre en œuvre les compétences.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Compétence	Novice			Débutant avancé			Compétent		
	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation	Ref.	Dans le cursus	Validation
Composante essentielle 1	CE1-1-1	Oui	Oui	CE1-2-1			CE1-3-1		
	CE1-1-2	Oui	Oui	CE1-2-2	Oui		CE1-3-2		
	CE1-1-3	Oui	Oui	CE1-2-3	Oui		CE1-3-3		
	CE1-1-4			CE1-2-4	Oui		CE1-3-4		
Composante essentielle 2	CE1-1-n			CE1-2-n			CE1-3-n		
	CE2-1-1	Oui	Oui	CE2-2-1			CE2-3-1		
	CE2-1-2			CE2-2-2	Oui		CE2-3-n		
	CE2-1-3			CE2-2-3					
Composante essentielle 3	CE2-1-4			CE2-2-4					
	CE2-1-n			CE2-2-n					
	CE3-1-1	Oui	Oui	CE3-2-1	Oui		CE3-3-1		
	CE3-1-2	Oui	Oui	CE3-2-2	Oui		CE3-3-2		
Composante essentielle 4	CE3-1-3	Oui	Oui	CE3-2-3	Oui		CE3-3-3		
	CE3-1-4	Oui	Oui	CE3-2-4	Oui		CE3-3-4		
	CE3-1-5			CE3-2-5			CE3-3-n		
	CE3-1-n			CE3-2-n					
Composante essentielle 5	CE4-1-1	Oui		CE4-2-1			CE4-3-1		
	CE4-1-2	Oui		CE4-2-2			CE4-3-2		
	CE4-1-3	Oui		CE4-2-3			CE4-3-3		
	CE4-1-4	Oui		CE4-2-n			CE4-3-n		
Composante essentielle 5	CE4-1-n								
	CE5-1-1	Oui		CE5-2-1			CE5-3-1		
	CE5-1-2	Oui		CE5-2-2			CE5-3-2		
	CE5-1-3	Oui		CE5-2-3			CE5-3-3		
Composante essentielle 5	CE5-1-n			CE5-2-n			CE5-3-4		
							CE5-3-n		

Figure 42. Exemple d'utilisation de la matrice ROSET

3.2 Définition du dispositif pédagogique



Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 2, les enseignants doivent favoriser une pédagogie active pour effectivement faire en sorte que les méta-compétences et les compétences transversales décrite dans le modèle ROSET soient mobilisées. La mise en place d'une pédagogie active peut s'appuyer sur différentes stratégies ou modalités pédagogiques dont l'objectif est de maintenir une relation entre la théorie et la dimension pratique : la démarche d'investigation, la démarche d'apprentissage par problème (Problem Based Learning), la démarche d'apprentissage par projet (Project Based learning), le

Challenge Based Learning, etc. Le choix d'une de ces démarches s'inscrit dans le cadre du socio-constructivisme et dépend du niveau d'autonomie et de maîtrise de compétences recherchés. Dans tous les cas, l'enseignant devra identifier une « situation problème » à résoudre, qui sera le point de départ de la séance de cours. Il est donc primordial de parfaitement la formuler. Cette formulation doit être faite de manière à ce que les étudiants puissent mesurer rapidement toutes les dimensions à appréhender et tous les savoirs techniques, scientifiques ou sociétaux à mobiliser pour répondre à cette situation problème. La définition précise des compétences à mobiliser pendant le cours (types de compétences et degré d'acquisition notamment) seront des critères centraux pour clarifier le contexte et le périmètre de la situation et le degré de difficulté et de complexité du problème à résoudre.

Le modèle ROSET et les éléments associés (description des méta-compétences, des apprentissages critiques et des situations professionnelles à différents niveaux d'acquisition) sont autant d'éléments que les équipes pédagogiques peuvent exploiter au cours de cette phase de définition du dispositif pédagogique. La figure ci-après (Figure 43) illustre comment un apprentissage critique peut être associé à des situations professionnelles, des activités pédagogiques et des ressources et ce à différents niveaux (notre exemple concerne ici l'apprentissage critique CE3-3-4 – « *Etudier et éco-concevoir des pièces, sous-ensembles ou ensembles* ». Chaque apprentissage critique, pour chaque composante essentielle, peut être décrit de la sorte.

Composante essentielle - CE3

Apprentissage critique - CE3-3-4

Étudier et éco-concevoir des pièces, sous-ensembles ou ensembles

Descripteurs de l'apprentissage critique

- Intégrer les paramètres environnementaux, économiques et sociaux
- Réaliser des analyses d'impacts
- Collaborer avec des partenaires extérieurs
- Choisir la solution la plus adaptée techniquement et durablement
- Utiliser les connaissances technologiques pour la résolution de problèmes


 Situations professionnelles		Ressources					
		Ingénierie des systèmes mécaniques	Sciences de matériaux	Ingénierie de production	Intervenants extérieurs (fresque du climat, industriels, alumni...)	Enjeux du développement durable (CE1)	Agir en citoyen éthique et responsable (CE2)
- Recherche de différentes solutions en réponse au besoin exprimé par le demandeur. - Reconception d'une pièce - Maîtriser le process de production et les technologies associées - Optimiser la production : implantation des ateliers, flux, organisation du travail							
Activités pédagogiques							
Novice	Modifier une pièce mécanique						
	Concevoir et modéliser une pièce simple						
	Se familiariser avec la pensée cycle de vie						
Débutant avancé	Remplacer une pièce existante monobloc par un système articulé de plusieurs éléments						
	Choisir une solution technique répondant aux contraintes externes						
	Intégrer la pensée cycle de vie dans la (re)conception						
Compétent	Choisir la solution permettant d'atteindre un compromis entre les objectifs de performance (cout, qualité, délai) et les enjeux de la durabilité						
	Agir sur les impacts externes et les impacts internes du produit						

Figure 43. Description des situations professionnelles, des activités pédagogiques et des ressources associées à l'apprentissage critique CE3-3-4 à différents niveaux d'acquisition

Pour opérationnaliser nos propositions et notre modèle, et faciliter le définition d'une situation problème en associant un type de problème à une modalité pédagogique, il nous semble pertinent que les équipes pédagogiques utilisent le modèle Cynefin [Snowden & Boone, 2007]. Ce modèle classe les problèmes à proposer aux étudiants suivant 4 types :

- **Un problème « simple ou évident »** : les causes et les effets de ce problème sont bien connus, la solution pour le résoudre l'est également. On décide dans ce cas d'utiliser les pratiques établies pour le résoudre. La majorité des disciplines scientifiques et technologiques suivent ce principe. On utilisera alors dans ce cas une démarche d'investigation.
- **Un problème compliqué** : une relation est établie entre cause et effet mais elle n'est pas évidente. Pour résoudre ce type de problème, l'apport d'un expert est nécessaire. La solution existe mais elle n'est pas connue de tous. L'expert fera le choix de ce qui convient le mieux en fonction d'une analyse fouillée de la problématique à traiter. Il peut y avoir pour ce problème une grande variété de solutions. L'apprentissage par problème correspond à ce type de problème.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

- **Un problème complexe** : les causes et les effets sont difficiles à identifier, à comprendre, à isoler, à cerner. Le problème est en perpétuelle évolution et pour le résoudre il faut donc bien identifier les critères variables, la sensibilité des modèles à ces critères pour ajuster les résultats au fur et à mesure de l'évolution du problème. La résolution de ces problèmes passe par l'expérimentation successive. L'apprentissage par problème ou la démarche de projet sont à privilégier pour répondre à ce type de situation problème.
- **Un problème chaotique** : il relève du domaine de la réponse rapide. Le lien entre causes et effets ne peut être distingué. Il relève souvent d'une catastrophe. Une réponse rapide est alors nécessaire pour stabiliser la situation et donner la possibilité de se retrouver ensuite face à un problème complexe, compliqué ou simple. On sera ici dans une situation de Challenge Based Learning.

Dans le modèle Cynefin, il existe également une partie centrale qui symbolise le « désordre » qui correspond à l'ensemble des situations pour lesquelles le contexte et le périmètre du problème n'ont pas pu être clairement identifiés. Pour illustrer l'utilisation du modèle Cynefin, nous avons choisi de présenter une application dans le cadre d'une formation au génie civil questionnant la problématique des infrastructures (Figure 44).

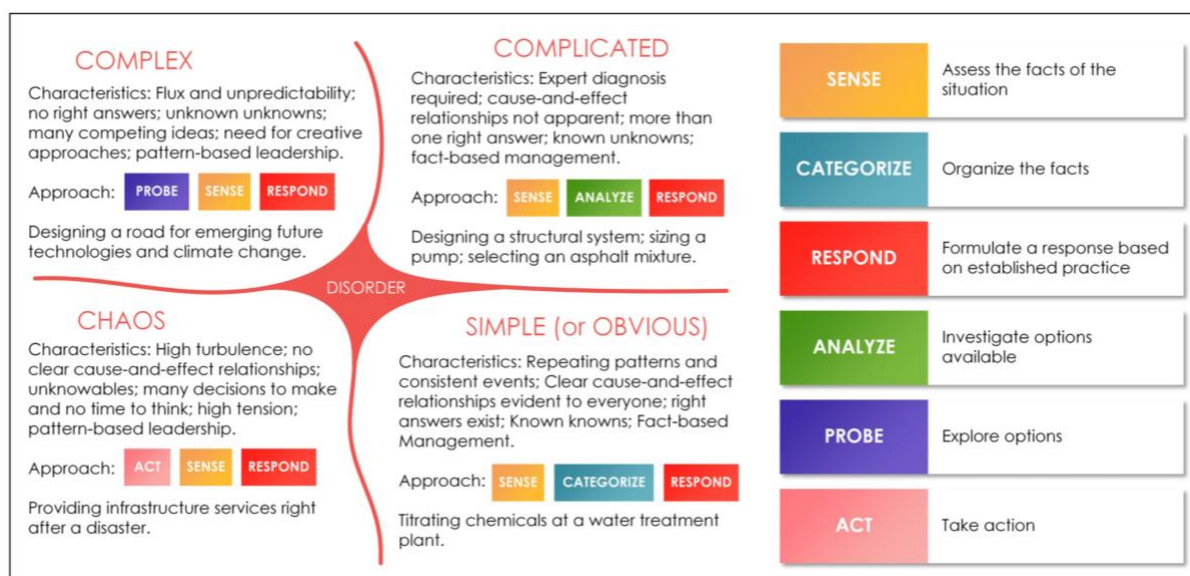


Figure 44. Exemple d'un Modèle Cynefin appliqué aux infrastructures (Chester & Allenby, 2019)

D'un point de vue pédagogique, ce modèle est intéressant car il aide les enseignants à mieux cerner les degrés de complexité des problèmes et donc leur permet d'identifier le type de problème à favoriser en fonction de l'objectif d'apprentissage visé, ce qui contribue aussi à envisager une diversité d'approches dans l'offre de formation (Tableau 12).

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Tableau 12. Intégration dans les curriculums du modèle Cynefin inspiré de [UNESCO, 2021]

	Type de problèmes	Connaissance et compétences	Structure du curriculum	Méthode d'enseignements et d'apprentissages
Simple	Problème connu Solution connue	Disciplinaire	Structure hiérarchique	Cours magistral, apprentissage actif et classe inversée
Compliqué	Problème connu Solution inconnue	Pluri disciplinaire	Collaboration entre quelques disciplines	Projets technologiques basés sur des problèmes dans toutes les disciplines
Complexe	Problème inconnu Solution inconnue	Inter disciplinaire	Réorganisation du curriculum – Approche programme	Analyses de problèmes complexes et projets basés sur des problèmes dans toutes les disciplines incluant les parties prenantes

Ces 3 types de problèmes sont adaptés au bloc d'ingénierie durable et permettent de mettre en œuvre des pédagogies actives centrées sur l'étudiant. Les problèmes simples doivent devenir minoritaires dans l'organisation d'une formation bien qu'ils ne soient pas voués à disparaître. Les apprentissages par problème ou par projet adaptés aux problèmes compliqués ou complexes occupent quant à eux une place centrale dans une approche par compétences car ils permettent le développement des méta-compétences indispensables à la mise en œuvre du bloc ingénierie durable. Dans tous les cas, les offres de formation doivent promouvoir un « mix » des situations d'apprentissages en privilégiant dans une approche programme une progressivité de ces situations en allant des problèmes simples aux plus complexes.

3.3 Évaluation des étudiants, de l'offre et du dispositif

- Qu'a retenu l'étudiant?
- Explicitation de ses compétences
- Tableau de bord des étudiants
- Ecart entre l'apport théorique et la mise en œuvre
- Ecart entre les objectifs de formation et les acquis des étudiants

3-Evaluation des étudiants, de l'offre et du dispositif

La dernière étape dans le déploiement d'une offre de formation correspond à la phase d'évaluation qui doit permettre de mesurer si l'objectif défini au départ est bien atteint que ce soit pour l'étudiant mais également pour l'équipe pédagogique qui a déployé cette formation. Il faut dès lors définir un cadre d'évaluation qui précise le type de traitement attendu pour que le problème soit résolu ainsi que les indicateurs d'évaluation pour que l'apprenant connaisse le plus précisément possible quels sont les critères et s'il y a eu ou non validation de ses compétences.

Chaque composante essentielle dispose d'un niveau de maîtrise en fonction de la situation problème proposée par l'équipe enseignante et des compétences engagées par l'étudiant pour y répondre. L'équipe pédagogique doit recueillir au cours de chaque activité de formation les indicateurs permettant de valider la maîtrise des compétences par les étudiants au niveau d'acquisition initialement requis. La construction d'une compétence étant en général un processus long et progressif, il est nécessaire de réaliser des bilans intermédiaires permettant de faire un suivi précis de la progression des étudiants. Les évaluations peuvent prendre plusieurs formes (sommative, formative ou diagnostique) et la compétence évaluée, les critères d'évaluation associés ainsi que les indicateurs de réussite seront toujours précisés

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

pour que les étudiants aient une vision la plus claire possible de qui est attendu d'eux et des enjeux de chaque activité de formation. Ces évaluations serviront aussi de support pour valider dans le portfolio la montée en compétences des étudiants et leur permettre de disposer d'un tableau de bord décrivant l'évolution de leur niveau d'acquisition de chacune des compétences.

Les cartes conceptuelles sont l'un des outils exploitables par les enseignants pour suivre l'évolution des étudiants. Selon Novak et Gowin [Novak & Gowin, 1984] ces cartes favorisent la réflexion des apprenants en leur permettant de manipuler les concepts, de les rassembler et de les diviser pour ensuite mieux se les approprier et donc de donner du sens à leurs apprentissages. Ainsi, le processus de construction d'une carte par un étudiant au cours d'activités pédagogiques et la carte finale permettent de suivre la démarche de travail suivie par l'étudiant. La carte est alors le reflet des compétences et connaissances qu'il a mobilisées pour répondre à la situation problème, elle peut donc être un outil d'évaluation pour l'enseignant (Figure 45). Ce dernier pourra évaluer les démarches des étudiants mais aussi valider la pertinence de son dispositif de formation et vérifier si l'objectif de compétences fixé est bien atteint en comparant la carte préalablement développée par lui comme étant la carte de « référence » avec celles établies par les étudiants au cours de l'activité pédagogique. L'utilisation de ces cartes peut faciliter le bilan sur les compétences réellement acquises par les étudiants et la création d'un portfolio de compétences.

Les éléments décrits dans le portfolio servent de « preuve », souvent partielle, des compétences développées et chaque preuve est accompagnée d'une explication des apprentissages réalisés en lien avec la compétence visée. Ceci peut se faire par l'entremise d'un profil de compétences préétabli. Pour ce qui est du bloc de compétences en ingénierie durable, les enseignants pourront s'appuyer sur le modèle ROSET pour décrire un profil de compétences et les étudiants se serviront de ce modèle pour décrire et suivre leur cheminement dans l'acquisition des compétences. La matrice des apprentissages critiques et de compétences cible pour un étudiant peut ainsi être complétée tout au long du cursus et rendra compte de la progression de l'étudiant et de sa trajectoire dans le développement de ses compétences. Le portfolio conduit donc l'étudiant à développer une forme de responsabilité dans ses apprentissages et de réflexivité dans l'acquisition de ses compétences. Cette réflexivité peut également se faire du point de vue de l'enseignant qui pourra mettre en perspective son dispositif pédagogique par l'exploitation des analyses qui sont faites par les étudiants.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

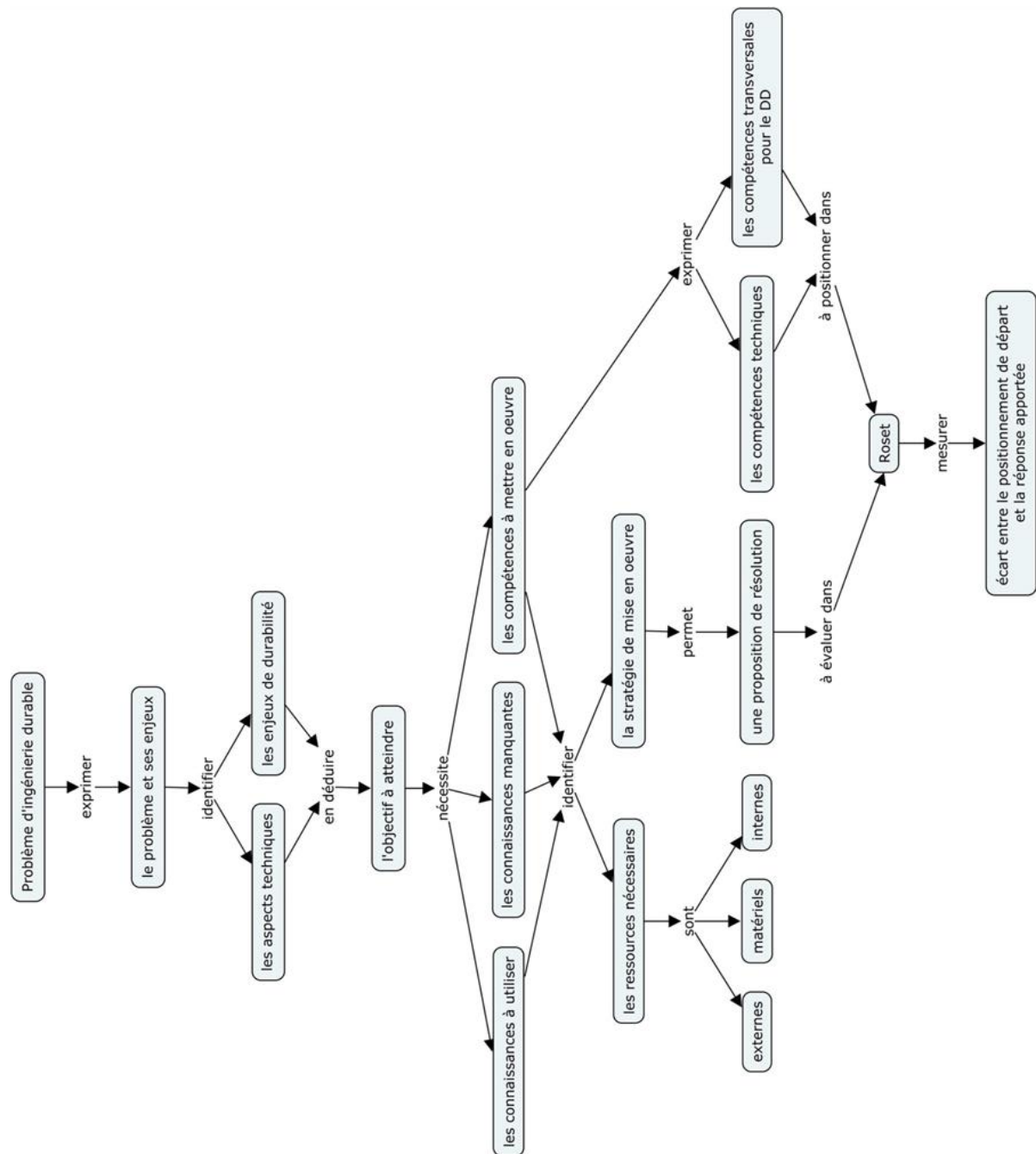


Figure 45. Exemple de carte conceptuelle comme outil de formalisation et l'évaluation de la démarche suivie par un étudiant pour résoudre un problème d'ingénierie durable

Enfin, les cartes peuvent aussi être utilisées pour aider à formaliser le processus de structuration de l'offre de formation ou une activité pédagogique et ainsi en faciliter l'évaluation par les équipes pédagogiques. En fonction des écarts entre les objectifs pédagogiques et les acquis des étudiants ce sont tous les éléments de la carte conceptuelle, ainsi que les processus de conception et de mise en œuvre associés qui peuvent être évalués et questionnés (Figure 46).

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

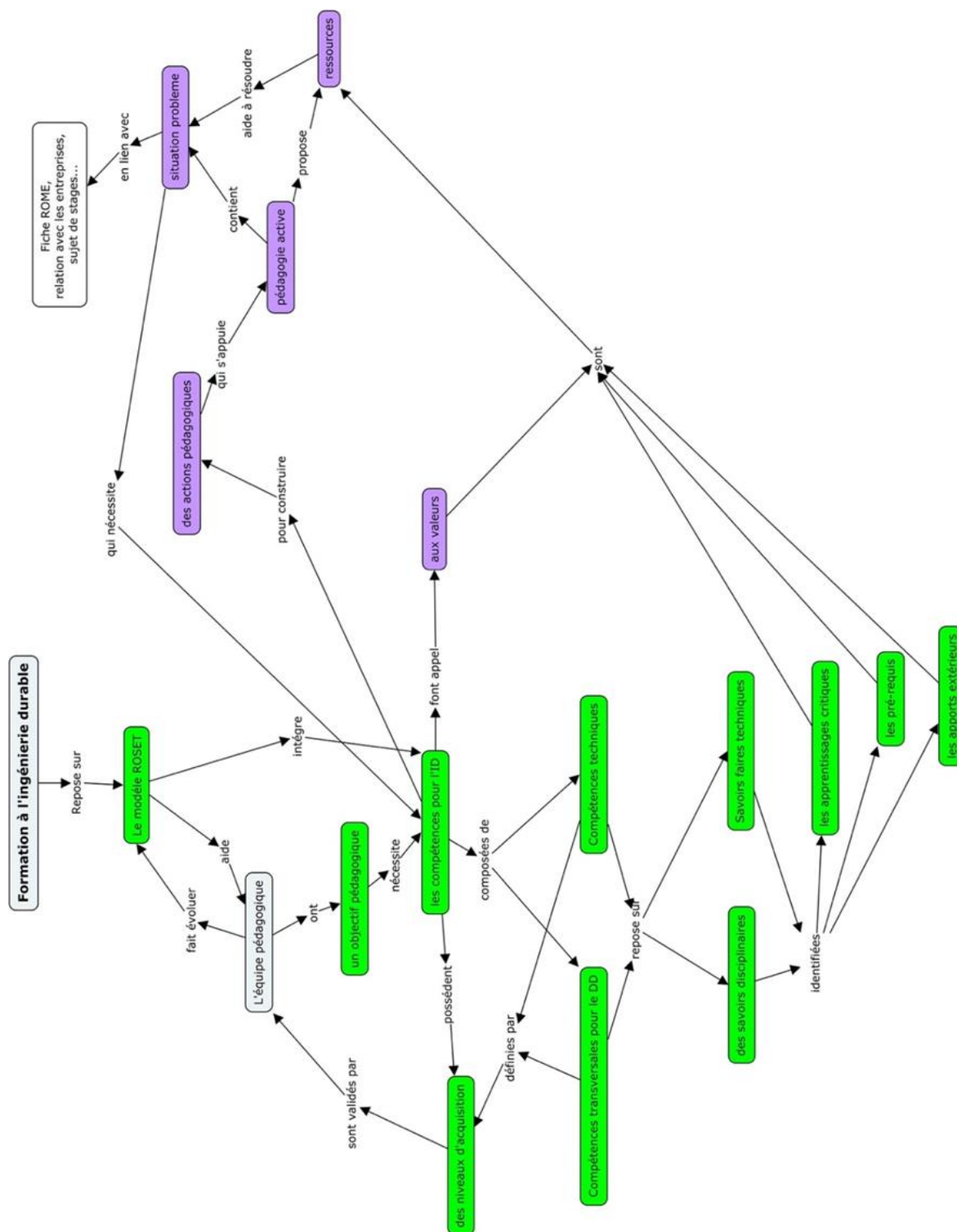


Figure 46. Exemple de carte conceptuelle décrivant les éléments structurant une offre de formation, une activité pédagogique en ingénierie durable et leurs interconnexions

4 Exemples d'utilisation du modèle ROSET dans le cadre d'activités de formation en écoconception

Pour illustrer l'usage qui peut être fait du modèle ROSET dans le cadre de la mise en œuvre d'une offre de formation, nous allons présenter trois activités pédagogiques s'appuyant sur le modèle et permettant l'acquisition graduelle des compétences relatives à l'ingénierie durable. Le thème commun aux activités est la démarche d'écoconception et les objets techniques étudiés sont une gourde pour le niveau novice et une bouilloire électrique pour les niveaux débutant avancé et compétent. Sur ces deux derniers niveaux nous nous attacherons à montrer comment un même objet technique peut être exploité pour développer une forme de progressivité dans l'acquisition des compétences.

4.1 Démarche d'écoconception appliquée à des gourdes - niveau novice

L'activité pédagogique présentée ici peut être proposée à des élèves de fin de cycle du secondaire (Terminale) mais peut également correspondre à une introduction du thème de la durabilité en première année de cursus universitaire. En effet, les étudiants néo-bacheliers ayant reçu une formation sur ce thème sont peu nombreux et l'activité permet de dresser un premier état des lieux de leurs connaissances et leur capacité à s'interroger sur les enjeux de notre société. L'activité a été mise en œuvre avec un groupe de 20 élèves de Terminale du Lycée Jean-Baptiste de Baudre à Agen, ayant choisi la spécialité Sciences de l'ingénieur ou engagés dans une démarche d'actions de développement durable au sein de leur établissement car étant des éco-délégués élus. Nous aurions souhaité la proposer à des étudiants de Licence 1 et/ou d'IUT mais nous n'avons malheureusement pas eu l'opportunité de trouver de terrain d'expérimentation pour des raisons d'incompatibilité de calendriers.

4.1.1 Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues

L'objectif pédagogique principal de l'activité est d'amener les élèves à développer leurs compétences transversales en ingénierie durable en conduisant une investigation de façon globale et critique sur un objet qu'ils connaissent et qui ne nécessite pas d'avoir des connaissances techniques étendues pour comprendre son fonctionnement. L'objet ne doit pas amener les élèves à avoir des *a priori* qui génèreraient des préconceptions qui mériteraient d'être interrogées. Ainsi selon le modèle des compétences et valeurs à intégrer dans les programmes de formation en ingénierie durable (Figure 26 – chapitre 3), cette activité pédagogique permet de combiner des méta-compétences telles que la pensée systémique, l'esprit critique et la connaissance personnelle – compétence normative notamment (en vert sur la Figure 47) avec des compétences techniques (en bleu sur la Figure 47). Nous considérons que les valeurs et l'éthique des élèves sont toujours mobilisées quelle que soit l'activité car elles sont ancrées chez eux.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

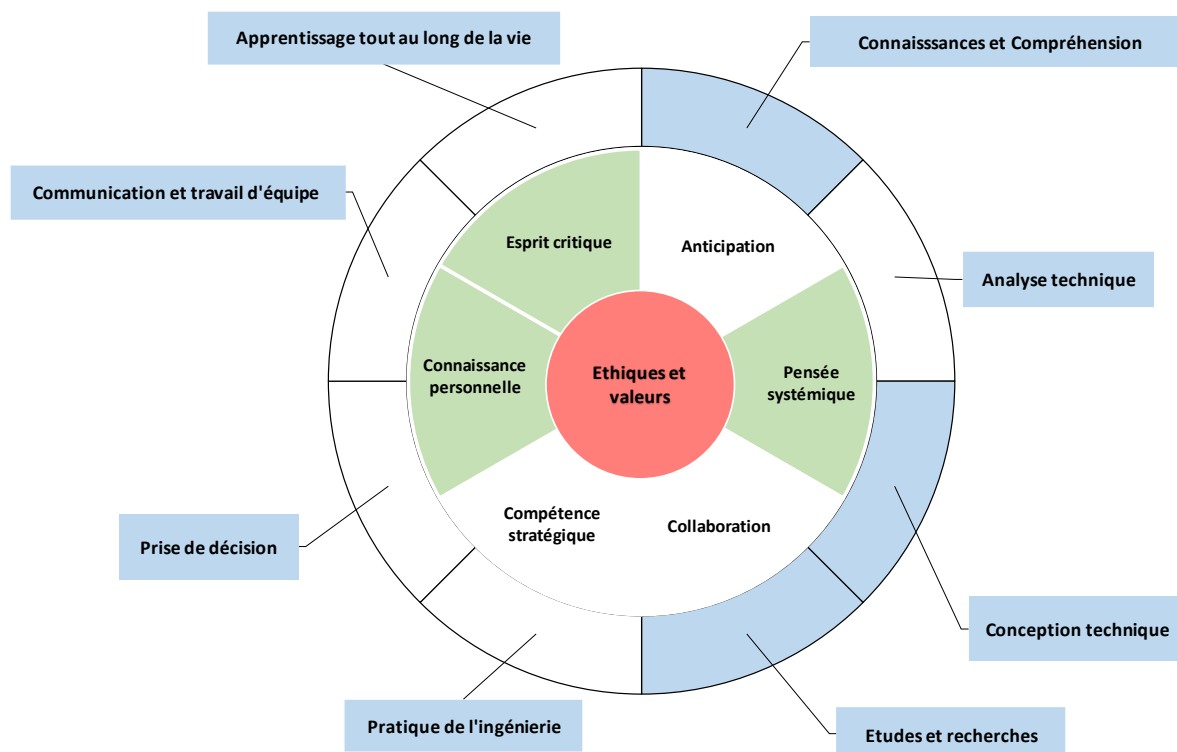


Figure 47. Compétences visées par l'étude de cas sur les gourdes

Pour atteindre cet objectif de formation nous proposons de mener une démarche d'écoconception d'un objet qui a pris une place de plus en plus importante dans leur quotidien : la gourde – deux en plastique et l'autre en inox (présentation des 3 gourdes en Annexe 11). La situation problème retenue fait que les élèves sont face à un problème simple selon le modèle Cynefin : « Choisir la gourde qui leur semble être de prime abord la moins impactante pour l'environnement et justifier leur choix ». Il est demandé aux élèves de réfléchir aux critères qui pourraient les aider à répondre à cette question et de recenser les différentes ressources permettant de valider ou invalider leur choix de départ en suivant une démarche d'investigation. L'activité pédagogique peut conduire à une ouverture vers les ODD pour accentuer la notion systémique du développement durable et amorcer une réflexion sur la possibilité des transferts d'impacts à la suite d'un choix qui semblait pertinent ou évident.

La fiche détaillée de l'action de formation permet d'identifier les grandes orientations retenues et les éléments de cadrage de l'activités qui doivent permettre d'amener les apprenants vers une analyse approfondie de la question ainsi que les compétences et apprentissages critiques du modèle ROSET associés (Figure 48). L'objectif est également de poser des notions simples et primordiales liées à l'écoconception (cycle de vie, norme, analyse des usages, ...) et plus globalement au développement durable (économie circulaire, impact sur la biodiversité, éthique et conséquence de ses choix,...).

<p>Définition de la situation professionnelle:</p> <p>Dans le contexte de la pandémie de Covid 19, il est recommandé aux parents d'équiper les enfants d'une gourde pour les repas et les activités sportives. Au regard de l'offre disponible sur le marché et dans le souci de respecter des critères de durabilité, vous devez réaliser une étude pour les parents leur permettant d'identifier les différents impacts leur permettant de faire un choix éco-responsable.</p>	<p>Démarche pédagogique : résolution d'un problème simple en utilisant une démarche d'investigation</p> <p>Objectifs pédagogiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prendre en compte le concept de cycle de vie en développant la pensée systémique chez les apprenants - Evaluer les différents types d'impact de durabilité, faire preuve d'esprit critique - Dépasser ses préjugés par une recherche documentaire pertinente, des échanges collaboratifs entre pairs, une mise à disposition de ressources par les enseignants
<p>Description de l'activité</p> <p>A partir de 3 gourdes disponibles (1 en plastique, 1 en verre et 1 en inox):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Choisir celle paraissant la moins impactante ■ Déterminer des critères pour valider ou invalider ce choix ■ Identifier toutes les étapes du cycle de vie du produit et identifier les impacts environnementaux ■ Imaginer un scénario de vie d'une gourde 	<p>Apprentissages critiques</p> <p>Examiner d'un œil critique les différents modèles économiques</p> <p>Evaluer qualitativement la durabilité d'un produit en fonction de plusieurs critères</p> <p>Etablir une relation entre production/consumation/environnement</p> <p>Prendre en considération de façon critique son mode de consommation</p> <p>Faire une analyse multi-étape, mono-critère de l'impact environnemental d'un produit en fonction d'un scénario de production et d'usage</p> <p>Comprendre l'impact d'un choix technologiques d'un point de vue économique, social et environnemental</p> <p>Utiliser un logiciel simple d'ACV (type Bilan produit) pour comparer les solutions en utilisant un outil d'analyse dans un contexte d'écoconception</p> <p>Se sentir responsable des conséquences environnementales et sociales de son propre comportement de producteur ou de consommateur</p> <p>Commencer à imaginer des styles de vie durables</p> <p>Questionner les évidences</p> <p>Repositionner la problématique au regard des ODD</p>
	<p>Compétences du bloc ID associées</p> <p>CE1-1-1</p> <p>CE1-1-2</p> <p>CE2-1-1</p>
	<p>Compétences du bloc ID associées</p> <p>CE3-1-1</p> <p>CE3-1-2</p> <p>CE1-1-2</p> <p>CE2-1-1</p>
	<p>Compétences du bloc ID associées</p> <p>CE3-1-1</p> <p>CE1-1-1</p>
	<p>Compétences du bloc ID associées</p> <p>CE1-1-1</p>

Figure 48. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « Démarche d'écoconception appliquée à des gourdes » - niveau novice

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

4.1.2 Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif

Au cours de cette activité, les élèves n'ont pas eu de difficultés pour faire émerger rapidement des questionnements autour des premières notions liées au cycle de vie d'un produit et des sur les problématiques environnementales, sociales et économiques :

- D'où viennent les matériaux ?
- Comment sont-ils transformés ?
- Comment « voyagent-ils » ?
- Pourquoi une gourde coûte 5€ et une autre 20€ ? D'où vient cette différence ?
- Sont-elles recyclées ?
- Où sont-elles fabriquées ? Dans quelles conditions ?
-

Les élèves, par groupe de 3 ou 4, ont produit des cartes conceptuelles pour poser leurs idées et leurs questions, indiquer les ressources qu'ils ont identifiées et exploitées pour répondre aux questionnements et les critères qu'ils retenaient pour in fine décider qui de la gourde en plastique ou en inox avait les impacts les plus faibles et était donc de leur point de vue la plus « durable ». L'analyse des cartes conceptuelles montre que cette activité relativement à l'objectif pédagogique et aux compétences visées :

1. A permis une première approche des questions de durabilité dans l'industrie en soulevant des questions de conception, de production, de transport et en faisant émerger la complexité d'une démarche d'écoconception qui ne se limiterait pas à l'étude des matériaux (ce que certains élèves avaient déjà fait en classe de 1^{ière}).
2. A contribué à activer les méta compétences esprit critique, pensée systémique et collaboration car nous avons observé que la qualité et le nombre des échanges, la profondeur des réflexions allait crescendo. Les élèves ont su conduire un raisonnement sur un périmètre d'acteurs très large autour des gourdes et ils ont finalement eu une vision systémique pertinente du sujet.
3. A contribué à la validation de certains apprentissages critiques et compétences associées CE1-1-1 et CE1-1-2 pour la CE1, CE2-1-1 pour le CE2 et CE3-1-1 et CE3-1-2 pour la CE3 au niveau novice (Figure 48). Elle ne permet pas de valider pleinement le niveau à elle seule, ce qui est illustré par les motifs en orange sur le niveau novice de la Figure 49. Cette illustration indique le degré plus ou moins fort d'acquisition des compétences des composantes essentielles mises en jeu : zone hachurée = niveau partiellement atteint, zone pleine : niveau totalement atteint.

A la fin de cette activités introductive du concept d'ingénierie durable, nous avons pu aborder les ODD et élargir la réflexion. En effet, les élèves n'ont pas eu de mal à faire lien entre le thème étudié et l'ODD 12 « *consommer et produire responsable* » mais nous avons pu les amener à établir d'autres connexions et travailler avec eux à l'élargissement du périmètre d'étude et de l'échelle des impacts possibles. Ils ont ainsi pu envisager les problématiques de l'eau avec l'ODD6, celles des énergies avec l'ODD7, des infrastructures mises en place avec l'ODD9 et l'ODD 13 qui sont au cœur des préoccupations actuelles pour limiter les impacts sur le changement climatique.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Cette formation ayant pour but d'introduire la thématique d'ingénierie durable, il sera nécessaire de réinvestir les compétences de ces composantes dans des thématiques et des problèmes plus complexes.

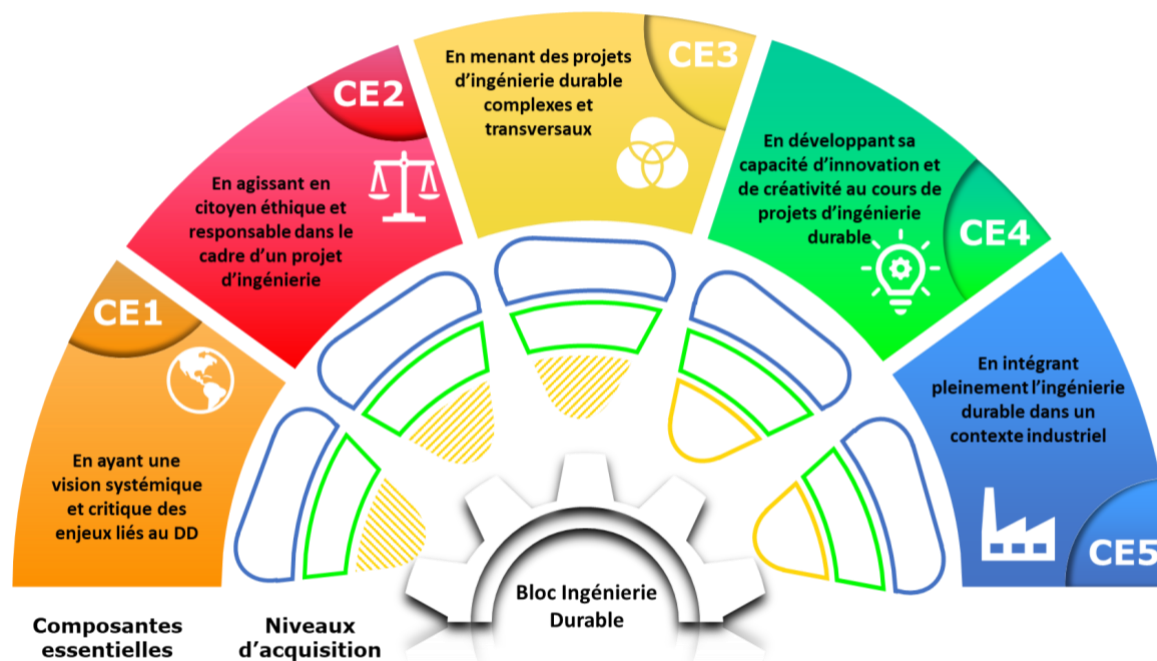


Figure 49. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude des gorges

4.2 Démarche d'écoconception appliquée à une bouilloire électrique – niveau débutant avancé

L'activité pédagogique à un niveau débutant avancé est de notre point de vue à ancrer dans le contexte d'une formation technologique de niveau BAC+1 (fin d'année) ou Bac+2 (plutôt en début d'année) de type BUT ou Licence Sciences pour l'ingénieur. L'objectif est de mobiliser des compétences et connaissances techniques maîtrisées par les étudiants, car déjà travaillées précédemment à un niveau novice dans la formation, dans le cadre d'une activité d'écoconception prenant plus fortement en compte les critères de durabilité selon la norme ISO 14062. Nous n'avons pas pu mener cette activité auprès d'étudiants de Licence 1 et/ou d'IUT pour les mêmes raisons que pour l'activité précédente (incompatibilité de calendriers et insertion compliquée dans une organisation déjà établie). Nous avons néanmoins soumis cette proposition pour avis et travailler en collaboration avec des collègues des départements GMP et SGM⁴¹ de l'IUT de Bordeaux.

4.2.1 Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues

L'objectif pédagogique principal de l'activité est d'amener progressivement les étudiants à renforcer leurs compétences transversales en ingénierie durable en conduisant une analyse partielle de cycle de vie d'un produit. Selon le modèle des compétences et valeurs à intégrer dans les programmes de formation en ingénierie durable (Figure 26 – chapitre 3), cette activité pédagogique doit permettre de combiner des méta-compétences telles que la pensée systémique, l'esprit critique, la connaissance personnelle et la collaboration (en vert sur la Figure 50) avec des compétences techniques (en bleu sur la Figure 50). Nous

⁴¹ Départements Génie Mécanique et Productique et Sciences et Génie des Matériaux

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

considérons toujours que les valeurs et l'éthique des élèves sont toujours mobilisées quelle que soit l'activité car elles sont ancrées chez eux.

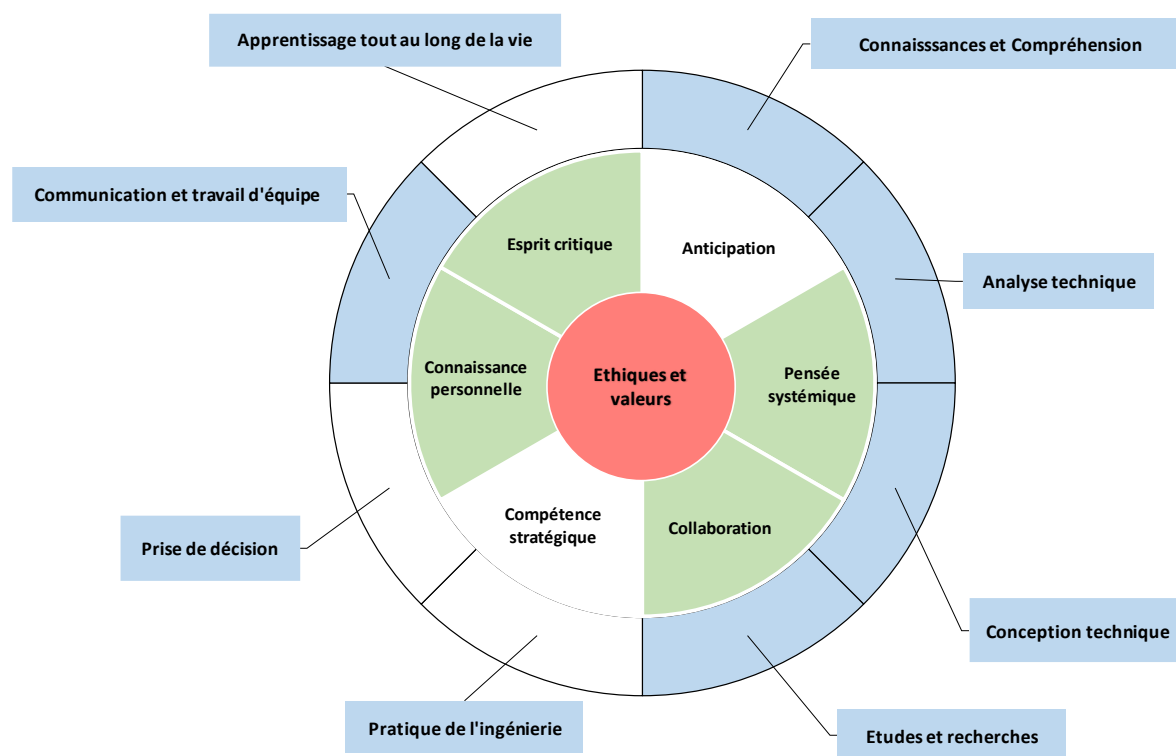


Figure 50. Compétences visées par l'étude de cas sur la bouilloire électrique à un niveau débutant avancé

La situation problème initiale proposée aux étudiants est la suivante : « Dans le cadre de l'amélioration de son impact environnemental, une entreprise fabriquant du petit électroménager vous demande une première étude d'un de ses produits grand public, sa bouilloire électrique⁴². L'entreprise souhaite évaluer son impact environnemental et identifier les axes sur lesquels travailler pour diminuer celui-ci ». Les entretiens que nous avons menés auprès de formateurs en IUT et en Licence ont mis en évidence que les produits de type petit électroménager (cafetière, brosse à dent électrique, grille-pain, ...) étaient souvent choisis comme objets d'étude de par leur usage courant par les étudiants. Nous avons donc choisi cette situation problème pour que les collègues puissent faire le parallèle avec des activités qu'ils ont l'habitude de mener et pour avoir une certaine continuité des problématiques actuellement proposées dans les quelques formations de niveau Bac+2/+3. L'activité s'appuie sur un apprentissage par problème et s'organise en 3 phases :

1. Une première phase doit permettre de poser les bases du questionnement nécessaire pour réaliser ce genre d'activité via un brainstorming en groupe.
2. Une seconde phase de recueil de données, de validation des sources et entretiens avec des experts.
3. Une troisième et dernière phase qui concerne l'utilisation d'un outil d'analyse de cycle de vie « simple » (tel que Bilan produit⁴³ par exemple).

⁴² Modèle de bouilloire retenu : modèle Subito en inox brossé, 2000W, 1,5L. Réf. BY540511. Fabricant Moulinex, sous marque de Seb. <https://www.moulinex.fr/instructions-for-use/Produits/Pr%C3%A9paration-des-aliments-et-boissons/Bouilloire/Bouilloire/bouilloire-subito-rouge-mat/csp/7211001537>

⁴³ <https://www.base-impacts.ademe.fr/>

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

L'aspect logiciel n'est abordé qu'en fin d'activité pour compiler les informations et analyser les résultats fournis par le logiciel en les comparant avec les hypothèses émises en début de recherche sur les aspects environnementaux. Le fait de placer l'outil en fin de séquence pédagogique est volontaire, dans le but d'associer le logiciel comme un outil d'aide à la prise de décision et d'analyse critique et non comme un outil guidant la réflexion et porteur de solutions rapides à notre problème. L'objectif de cette proposition est d'élargir l'étude de cet objet en ne prenant pas seulement en compte les impacts liés au choix des matériaux relatifs à sa conception et la prise en main d'un outil (souvent logiciel) à l'évaluation de l'impact environnemental mais bien de travailler sur une vision holistique du produit pour permettre une première analyse de cycle de vie plus précise et qui prend également en compte les aspects socio-économiques.

Pour mener à bien cette activité, les étudiants doivent avoir un niveau de connaissance minimal concernant les enjeux du développement durable. Ils doivent en particulier être capables de distinguer les différents piliers du développement durable et pour chacun d'entre eux d'y associer des indicateurs permettant de faire une analyse. Ils doivent également être capables de proposer des axes d'amélioration en termes d'ingénierie répondant aux enjeux de la durabilité. Il convient donc que les étudiants aient acquis un niveau novice dans la composante essentielle CE1 « En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable » afin d'identifier les interactions entre les différentes composantes du développement durable et qu'ils soient conscients des enjeux liés à cette problématique. Ces compétences seront ensuite renforcées avec des compétences et apprentissages critiques de niveau supérieur dans cette composante essentielle CE1-2-2, 1-2-3 et 1-2-4 (Figure 51). Dans le cadre d'une formation à l'écoconception, il est nécessaire que les étudiants soient aussi familiarisés avec la notion de cycle de vie pour identifier les phases critiques de développement et des outils permettant de mesurer les impacts environnementaux. Des logiciels d'ACV ou des outils simplifiés d'évaluation d'impact environnemental comme la matrice MET peuvent être présentés mais le plus important est qu'ils comprennent pourquoi ils les utilisent. C'est pourquoi la composante essentielle CE3 « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux » prend une part prépondérante dans cette activités (CE 3-1-2, 3-2-1, 3-2-2 et 3-2-3, Figure 51). Enfin la composante essentielle CE2 « En agissent en citoyen éthique et responsable » est aussi sollicitée relativement au questionnement sur les aspects éthiques et économiques en lien avec cette étude (CE2-1-1 et 2-2-2, Figure 51).

CE1-2-2	Analyser et expliquer une analyse de cycle de vie d'un point vue environnemental, social et économique
CE1-2-3	Identifier les paramètres scientifiques, économiques,... fiables pour mesurer la durabilité
CE1-2-4	Etre capable d'identifier les ressources pertinentes d'information sur le DD pour une prise de décision
CE3-1-2	Fondamentaux de l'écoconception
CE3-2-1	Compréhension de la méthodologie ACV et des éléments essentiels des études ACV selon les normes ISO 14040/44
CE3-2-2	Compléter une étude qualitative à l'aide de logiciel dédié à l'ACV (Sima Pro, Open LCA, CES Edu pack,...) ou de logiciels simples (Bilan Produit)
CE3-2-3	Etre capable d'avoir une vision systémique de l'analyse (parties internes, externes) - Mettre en oeuvre une pensée cycle de vie
CE2-1-1	Identifier les causes de non durabilité dans un projet, questionner ses croyances
CE2-2-2	Comprendre le rôle de l'industriel sur la soutenabilité de la société

Figure 51. Compétences et apprentissages critiques visés par l'activité « bouilloire électrique » au niveau débutant avancé

Compétences pré-requises: Niveau Novice de la composante CE1 validé	
Description de l'activité	Apprentissages critiques
<p>Définition de la situation professionnelle:</p> <p>Dans le cadre de l'amélioration de son impact environnemental, une entreprise fabriquant du petit électro-ménager vous demande une première étude d'un de ses produits grand public (la bouilloire électrique)</p> <p>L'objectif est d'évaluer son impact environnemental et d'identifier les axes sur lesquels travailler pour diminuer celui-ci.</p>	<p>Démarche pédagogique : résolution d'un problème compliqué en utilisant une démarche d'investigation</p> <p>Objectifs pédagogiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expliquer une analyse de cycle de vie d'un point de vue environnementale, économique et sociale - Compléter un logiciel d'ACV simple (Bilan produit) et en faire une lecture critique - Comprendre les principaux impacts du produit, - Avoir une vision multi-étapes, multi-critères
<p>Analyse fonctionnelle du produit pour mettre en œuvre une analyse qualitative d'un produit dans le cadre d'une démarche d'écoconception</p> <p>Etablir des scénarios d'usage</p> <p>Identifier le cadre réglementaire du produit</p>	<p>Acquérir la dimension multicritère, multi-composant, multi-indicateur de l'écoconception d'un produit en lien avec son cycle de vie</p> <p>Acquérir la notion d'unité fonctionnelle et de flux de référence</p> <p>Identifier les dérives d'usage</p> <p>Rechercher les directives, normes auxquelles est soumis le produit</p>
<p>Identifier (par recherche et déduction) les matériaux courants (métaux, plastique) et les procédés de fabrication et de mise en forme</p> <p>Identifier les procédés de fabrication</p> <p>Identifier le parcours géographique du produit</p> <p>Proposer des pistes d'amélioration</p>	<p>Savoir choisir et comparer parmi les données fournies par le logiciel d'ACV les plus pertinentes</p> <p>Comprendre les critères de choix de matériaux et être critique dessus</p> <p>Etude de la fin de vie (participation à la conception, comportement des usagers, défaillances possibles, identification des pièces critiques...)</p> <p>Repenser l'usage, la conception</p> <p>Etre capable d'identifier l'axe défaillant</p>
	<p>CE3-2-1</p> <p>CE3-1-2</p> <p>CE1-2-2</p> <p>CE1-2-4</p> <p>CE1-2-3</p> <p>CE3-2-2</p> <p>CE3-2-3</p> <p>CE2-2-2</p> <p>CE3-2-3</p> <p>CE2-1-2</p>

Figure 52. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « écoconception d'une bouilloire électrique » - niveau débutant avancé

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Cette activité aborde des compétences peu ou pas sollicitées à savoir les compétences relevant des composantes essentielles CE1 et CE2 qui sont généralement considérées de façon implicite comme maîtrisées et relevant des connaissances informelles ou des valeurs personnelles de l'étudiant. La fiche détaillée de l'action de formation permet de préciser les éléments de cadrage de l'activité pour que celle-ci puisse être menée correctement et ainsi conduire les apprenants développer une analyse approfondie de la question en s'appuyant sur les compétences et apprentissages critiques du modèle ROSET associés (Figure 52).

4.2.2 Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif

Comme nous n'avons pas pu mener cette activité dans le cadre d'une formation, nous avons établi avec les collègues des IUT un déroulé possible de celle-ci et nous l'avons nous-même menée pour identifier les résultats et analyses possibles. Si nous respectons l'organisation proposée pour l'activité, les étudiants devraient identifier et modéliser les différentes phases du cycle de vie d'un produit après une recherche documentaire sur le produit concernant les normes, la réglementation et le marché. Ils devraient ensuite être en mesure de rechercher et proposer des indicateurs de durabilité pour chacune de ces phases. Ils devraient donc au cours des deux premières phases de l'activité mobiliser et développer les méta compétence et les compétences transversales décrites dans la Figure 50. Au cours de la dernière phase de l'activité, les étudiants utiliseront un logiciel d'ACV qui devraient les conduire à identifier que :

1. La consommation énergétique du produit et la constitution du cordon d'alimentation sont les deux points critiques au niveau technologique (étude menée avec Bilan Produit® de l'ADEME). L'étude du produit menée par les étudiants devraient mettre en évidence que le cordon d'alimentation au niveau de sa fabrication mais surtout au niveau de son recyclage (quasi impossible à faire correctement) est le sous-ensemble qui génère la plus grosse partie des impacts environnementaux de la bouilloire.
2. La phase d'usage représente 80% des impacts environnementaux quel que soit le design de la bouilloire. Ce résultat est confirmé par une étude menée à l'Université de Manchester [Gallego-Schmid *et al.*, 2018]. Les étudiants devraient notamment mettre en évidence que les « mauvais usages » de la bouilloire sont la principale source de surconsommation d'énergie (volume d'eau chauffé trop faible, oubli de l'eau chauffée donc lancement d'un nouveau cycle de chauffe, etc.).

L'étude de ce produit, et son ACV en particulier, montre également que les solutions technologiques pour réduire les impacts liés aux éléments décrits ci-dessus sont peu nombreuses et n'offrent pas un bénéfice de durabilité probant sur la phase d'usage. De plus les questions liées à la fin de vie et à la réparabilité du produit permettraient d'ouvrir le débat et la réflexion autour des enjeux de l'économie circulaire et de sa possible mise en œuvre.

Un autre axe de travail pourrait également porter sur l'efficacité énergétique du produit. Les étudiants devraient identifier que le rendement énergétique de la bouilloire est faible et qu'il mériterait une étude théorique plus approfondie. Les concepts physiques et mathématiques associés à la résolution de ce problème étant trop complexes pour des étudiants du niveau ciblé, nous avons choisi de ne pas traiter cette piste.

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Notre simulation montre que cette activité, si elle est correctement menée auprès des étudiants, devraient fortement mobiliser des connaissances techniques, des compétences et apprentissages critiques associés à la composante essentielle CE3. Le travail de recherche sur l'ACV, le fait d'en faire une sur la bouilloire et de questionner l'impact de son usage permet d'ancrer un peu plus chez les étudiants une culture et une compréhension assez larges du développement durable. Les apports sur les composantes essentielles CE1 et CE2 ne doivent donc pas être sous-estimés.

Cette activité devrait donc effectivement participer de la validation de certains apprentissages critiques et compétences associées CE1-2-1, CE1-2-3 et CE1-2-4 pour la CE1, CE2-1-1 et CE2-2-2 pour le CE2 et CE3-1-1, CE3-1-2, CE3-2-2 et CE3-2-3 pour la CE3 au niveau débutant (Figure 53). Elle ne permet pas de valider pleinement le niveau à elle seule, ce qui est illustré par les motifs en orange et vert sur les niveaux novice et débutant avancé de la Figure 53. Cette illustration indique le degré plus ou moins fort d'acquisition des compétences des composantes essentielles mises en jeu : zone hachurée = niveau partiellement atteint, zone pleine : niveau totalement atteint.

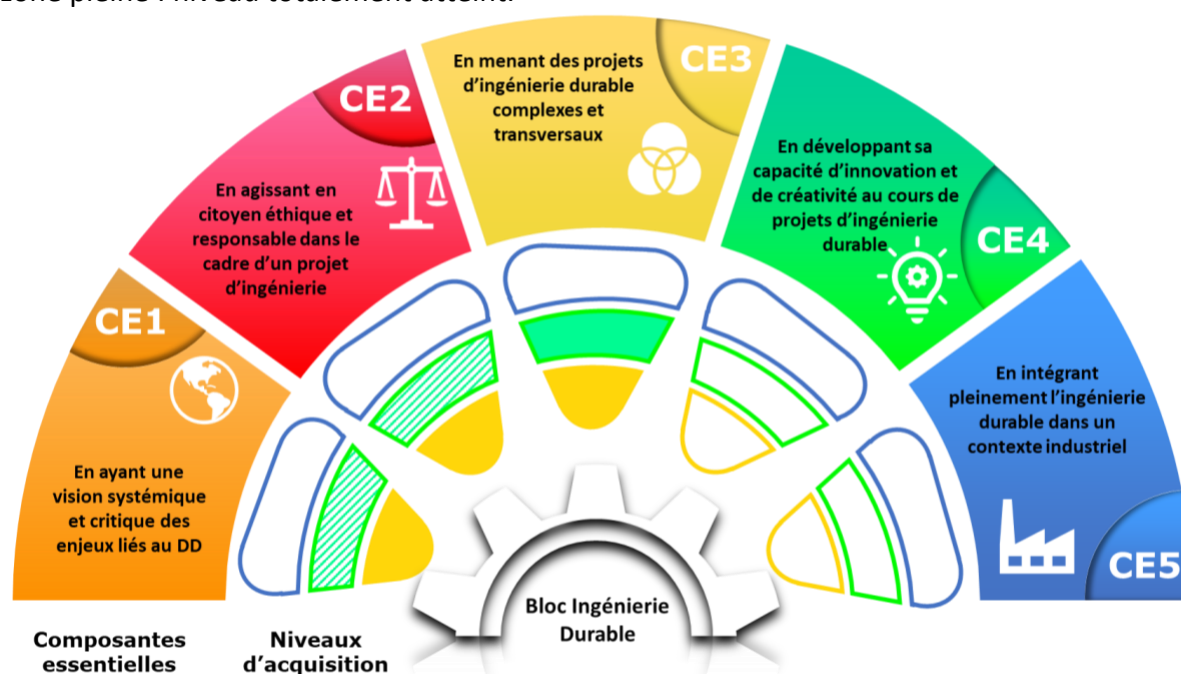


Figure 53. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude de la bouilloire électrique au niveau débutant avancé

Nous avons ensuite choisi de conserver le thème de la bouilloire pour illustrer la possible progression entre le niveau débutant avancé et le niveau compétent en termes de connaissances et compétences pour l'ingénierie durable. L'objectif est aussi de montrer l'intérêt de conserver un même support/objet technique comme fil rouge d'activités pédagogiques multiples. En effet, la connaissance approfondie du produit par les étudiants peut permettre d'éviter la phase de découverte de celui-ci qui peut nuire au démarrage et à l'avancement d'une activité (perte de temps et parfois incompréhension du fonctionnement du système).

4.3 Démarche d'écoconception appliquée à une bouilloire électrique – niveau compétent

Dans l'activité précédente, au niveau débutant avancé, une partie conséquente de l'étude était consacrée sur deux phases critiques du cycle de vie de la bouilloire : 1. la phase d'usage de la bouilloire qui peut se révéler être critique si les « mauvais usages » sont identifiés par les étudiants ; 2. la fin de vie du produit (recyclabilité et réparabilité) notamment pour ce qui concerne le devenir des pièces critiques pour son fonctionnement. Pour le niveau compétent, nous avons décidé de conserver la bouilloire électrique mais en sollicitant une expertise plus approfondie qui interroge plus précisément l'optimisation de l'efficacité énergétique du produit en nous focalisant sur la conception de la partie « mécanique » mais également de la partie « électrique » de la bouilloire. Les contenus scientifiques de cette activité étant plus théoriques et comme elle demande une capacité d'abstraction plus importante, nous orientons la proposition vers un public d'apprenants post licence (Master 1). Les étudiants de Master ayant suivi un cursus de Licence dans le supérieur ont normalement des connaissances scientifiques pluridisciplinaires et un certain recul sur l'activité de conception et la conduite de projet. L'activité a été mise en œuvre avec deux groupes d'étudiants de Master de l'INSPE de l'Académie de Bordeaux.

Le premier groupe concernait des étudiants de Master 1 inscrits dans le parcours « *Sciences Industrielles de l'Ingénieur et Technologie* » (S2IT). Ces étudiants se destinent à devenir enseignants en Science de l'Ingénieur en collège ou lycée par la voie du concours CAPET S2I (4 options⁴⁴). Les étudiants de ce groupe avaient tous suivi un cursus universitaire en Licence dans l'une des options du concours (ingénierie des constructions, ingénierie électrique, ingénierie informatique ou ingénierie mécanique). Ils n'avaient pas tous le même niveau de connaissance en mécanique et/ou électrique mais ils avaient tous des connaissances suffisantes pour mener l'activité. De la même façon, ils avaient tous déjà mener une démarche de projet dans le cadre de leur cursus de formation antérieur. Leur niveau sur la composante essentielle CE3 était donc débutant avancé. Ils n'avaient pas tous suivi des modules de formation en lien avec le développement durable et ceux qui avaient eu ce type de formation étaient plutôt positionnés au niveau novice « partiel » sur les CE1 et CE2. La majeure partie des étudiants de ce parcours ont déjà mené des projets en ingénierie durable dans les parcours de formation de niveau Licence en lien avec leur discipline d'origine (conception d'un bâtiment durable pour l'option génie civil ou projet d'étude sur les impacts du numérique pour l'option génie informatique). Ils ont eu aussi des périodes de stages en entreprises. Ils ont donc un niveau novice « partiel » sur les composantes essentielles CE4 et CE5. Le profil type d'un étudiant à l'entrée du Master 1 parcours S2IT est illustré en Figure 54.

⁴⁴ Un seul CAPET SII mais 4 options : option ingénierie des constructions, option ingénierie électrique, option ingénierie informatique et option ingénierie mécanique.

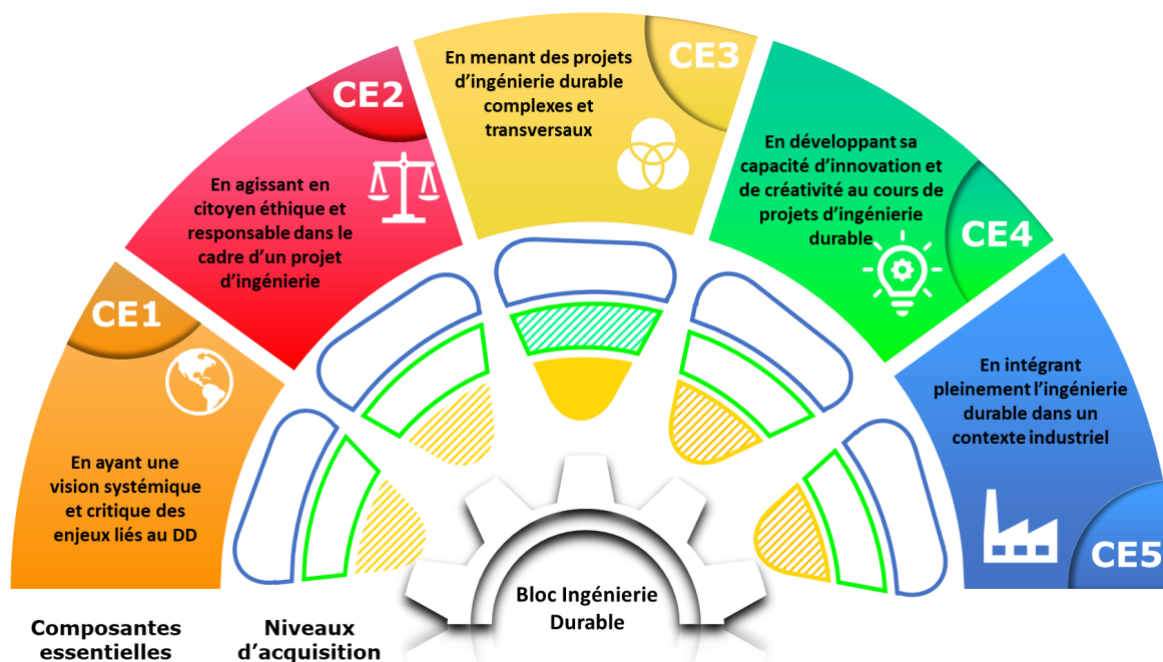


Figure 54. Profil type d'un étudiant à l'entrée du Master 1 parcours S2IT sur le bloc ingénierie durable

Des étudiants de Master 2 inscrits dans le parcours « *Eduquer, former à la transition écologique et au développement durable* » (FTEDD) composaient le second groupe (pas de Master 1 pour ce parcours). Ces étudiants se destinent à des métiers tels qu'ingénieur de formation, chargé de projets Développement Durable et Responsabilité sociale dans la fonction publique d'Etat, les collectivités territoriales ou les entreprises, chargé d'études et d'évaluation en lien avec la SNTEDD et les ODD, etc. Il était intéressant pour nous de travailler avec des étudiants qui n'ont pas forcément de compétences techniques en mécanique ou électrique (profils disciplinaires : biologie, géographie, sciences de l'éducation, écologie et sciences de l'environnement, etc.) mais qui ont par contre tous suivi des modules de formation traitant du développement durable et/ou de cycle de vie des systèmes. Les étudiants du parcours FTEDD avaient donc tous un niveau débutant avancé (non encore validé – donc « partiel ») sur les CE1 et CE2 et étaient au niveau novice « partiel » sur la CE3. De plus, le recrutement de ces étudiants se faisant à Bac+4, ils ont déjà tous un Master 1 (ou un niveau équivalent) et pour certains, ils ont déjà un diplôme de Master 2. Ils ont donc déjà mené des projets de durabilité dans leur discipline d'origine et ont eu des périodes de stages plus ou moins longues. Les étudiants ont donc généralement un niveau débutant avancé « partiel » sur les composantes essentielles CE4 et CE5. Le profil type d'un étudiant entrant en Master 2 parcours FTEDD est illustré en Figure 55.

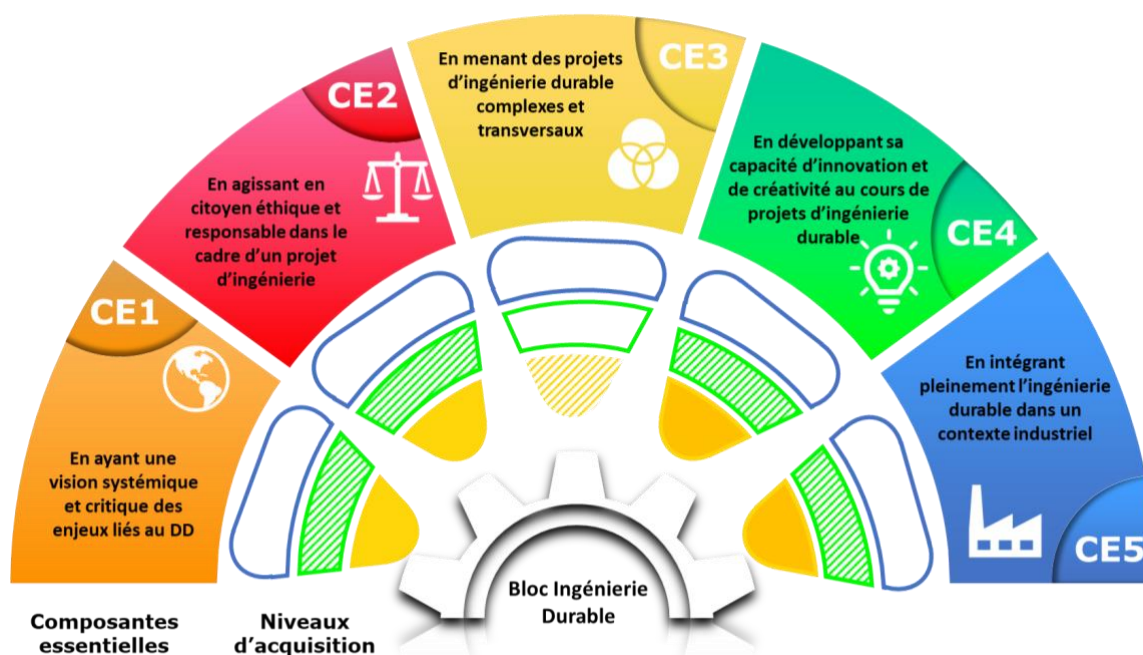


Figure 55. Profil type d'un étudiant à l'entrée du Master 2 parcours FTEDD sur le bloc ingénierie durable

Les profils des deux groupes d'étudiants sont assez complémentaires ce qui est de notre point de vue intéressant puisque cela nous a permis d'observer et d'évaluer le déroulé des deux expérimentations sur le terrain auprès d'un public aculturé aux sciences de l'ingénieur (les S2IT) et d'un public qui l'est beaucoup moins (les FTEDD). L'un de nos objectifs secondaires était d'éprouver les activités et les démarches pédagogiques en sciences de l'ingénieur proposées avec des « novices » car ce type de profil de formé correspond à celui que nous pouvons rencontrer en entreprise ou dans les collectivités et associations dans le cadre d'ateliers de formation tout au long de la vie. Ceci nous permettait, dans une certaine mesure, d'élargir notre champ d'étude même si nous sommes conscients qu'il faudra effectivement mener des actions de formation continue en entreprise ou dans d'autres contextes pour réellement éprouver nos propositions en formation tout au long de la vie.

4.3.1 Objectif pédagogique, compétences visées et modalités pédagogiques retenues

L'objectif pédagogique principal de l'activité est d'amener les étudiants à renforcer encore un peu plus leurs compétences transversales en ingénierie durable en conduisant une évaluation la plus complète possible de l'impact environnemental de la bouilloire et de proposer une étude approfondie de ses performances énergétiques pour ensuite formuler des propositions d'amélioration étayées. Comme pour l'activité pédagogique précédente, cette activité au niveau compétent doit permettre de combiner des méta-compétences telles que la pensée systémique, l'esprit critique, la connaissance personnelle et la collaboration (en vert sur la Figure 56) avec des compétences techniques (en bleu sur la Figure 56). La différence entre les deux activités vient du fait que celle-ci mobilise des savoirs et des compétences plus pointus et avec un niveau d'acquisition plus élevé, et développe aussi la pratique de l'ingénierie. Nous considérons toujours que les valeurs et l'éthique des élèves sont toujours mobilisées quelle que soit l'activité car elles sont ancrées chez eux.

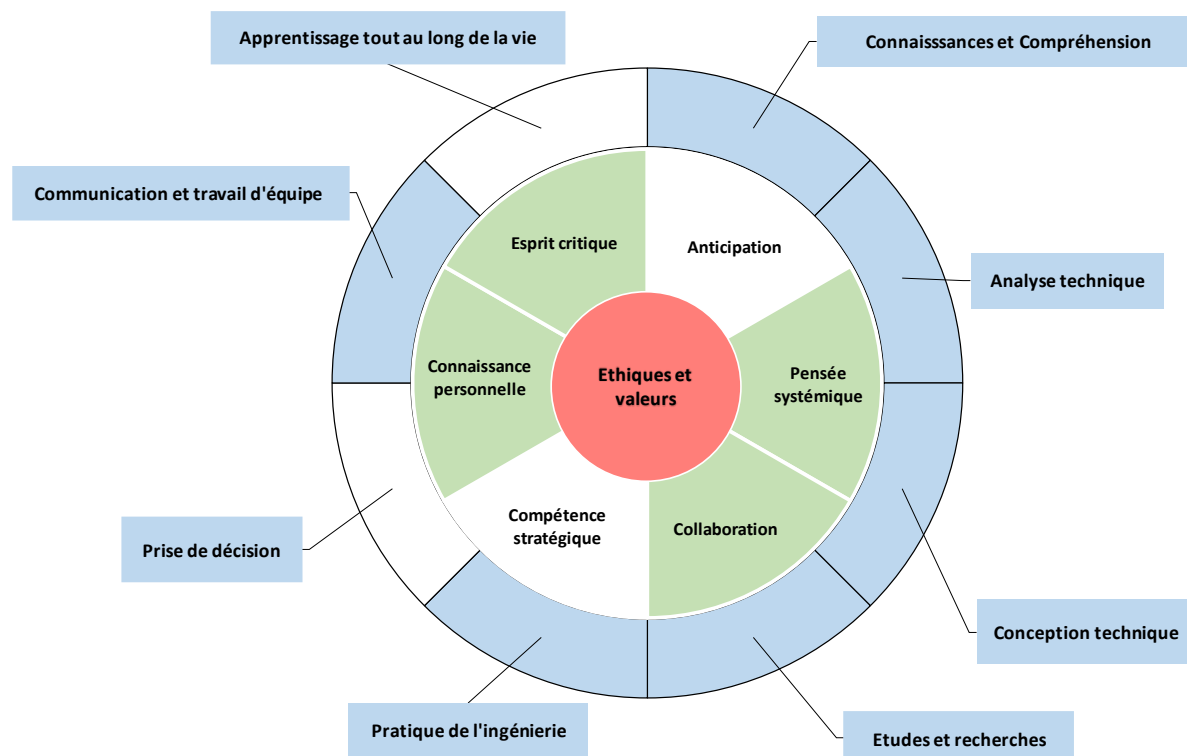


Figure 56. Compétences visées par l'étude de cas sur la bouilloire électrique à un niveau compétent

La situation problème initiale proposée aux étudiants est la suivante : « Dans le cadre de l'amélioration de son impact environnemental, une entreprise fabriquant du petit électroménager vous demande d'étudier précisément et d'améliorer la performance énergétique d'un de ses produits grand public : sa bouilloire électrique⁴⁵ ». L'activité s'appuie sur un apprentissage par problème et s'organise en 3 phases :

1. Une première phase qui correspond à l'étude du système technique et en particulier à l'analyser du système de chauffe : son fonctionnement et sa constitution.
2. Une seconde phase au cours de laquelle les étudiants vont identifier les types de pertes thermiques et les quantifier en concevant la démarche de calcul pour le faire.
3. Une troisième et dernière phase qui concerne l'optimisation des performances du système de chauffe. Les étudiants devront faire des propositions argumentées de solutions techniques (demande explicite dans l'énoncé) ou de modification des usages pour améliorer les performances de la bouilloire (non demandé dans l'énoncé mais solutions possibles si le questionnement et l'approche de résolution du problème sont globaux).

La difficulté principale de cette étude d'optimisation de l'efficacité énergétique de la bouilloire par un travail sur sa conception et ses usages est de conserver la vision systémique du problème et de ne pas rester concentrer sur les aspects purement techniques et scientifiques.

⁴⁵ Modèle de bouilloire retenu : modèle Subito en inox brossé, 2000W, 1,5L. Réf. BY540511. Fabricant Moulinex, sous marque de Seb. <https://www.moulinex.fr/instructions-for-use/Produits/Pr%C3%A9paration-des-aliments-et-boissons/Bouilloire/Bouilloire/bouilloire-subito-rouge-mat/csp/7211001537>

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

Pour mener à bien cette activité, les étudiants doivent avoir un niveau de connaissance sur les enjeux du développement durable aussi élevé que pour l'activité précédente mais des connaissances techniques plus importantes pour être capables de proposer des axes d'amélioration en termes d'ingénierie répondant aux enjeux de la durabilité. Cette activité doit donc idéalement être proposée après et dans la continuité de celle présentée dans le paragraphe précédent. Au cours de l'activité précédente les étudiants auront mobilisé diverses compétences et apprentissages critiques qui seront réexploités et mobilisés au cours de l'activité au niveau compétent (Figure 57). Ces compétences seront renforcées et complétées avec des compétences et apprentissages critiques de niveau supérieur sur les composantes (Figure 57) :

- CE1 – CE1-2-3 et 1-3-2,
- CE3 – CE3-2-4, 3-3-2 et 3-3-3,
- CE4 – CE 4-1-2

CE3-1-2, CE3-2-1, CE3-2-2, CE3-2-3	Voir Fiche Bouilloire Niveau 1
CE1-2-2, CE1-2-3, CE1-2-4	
CE2-1-2, CE2-2-2	
CE3-2-4	Utiliser des connaissances de conception pour relever les performances du produit indispensable à sa bonne conception
CE3-3-2	Mener une ACV partielle et utiliser un logiciel d'ACV spécifiques
CE3-3-3	Faire un choix raisonné des ressources (matière, énergie, modèle économique,...) en s'informant auprès d'experts
CE1-2-3	Identifier les paramètres scientifiques, économiques,... fiables pour mesurer la durabilité
CE1-3-2	Partager ses connaissances - Aller chercher les connaissances auprès des spécialistes
CE4-1-2	S'informer sur les innovations, distinguer ce qui est de la conception traditionnelle et ce qui ne l'est pas

Figure 57. Compétences visées par l'activité bouilloire électrique niveau compétent

La fiche détaillée de l'action de formation permet de synthétiser les éléments de cadrage de l'activité pour que celle-ci puisse être menée correctement et ainsi permettre à l'enseignant d'atteindre les objectifs d'apprentissages qu'il s'était fixé (Figure 58).

Compétences pré-requises: Niveau débutant avancé acquis pour CE1 et CE3		
Description de l'activité	Apprentissages critiques	Compétences du bloc ID associées
Reprendre l'activité niveau 1 de la bouilloire si non réalisé	Voir la fiche précédente	CE3-1-2, CE3-2-1, CE3-2-2, CE3-2-3
Etude du système de chauffe	Comprendre le fonctionnement, analyser et comprendre la documentation	CE1-2-2, CE1-2-3, CE1-2-4
Travail en interdisciplinarité	<p>Schématiser les transferts de chaleur, souligner les facteurs impactant, identifier ceux sur lesquels un levier existe lors de la conception</p> <p>Concevoir un modèle qui permet de simuler l'effet des modifications.</p>	CE2-1-2, CE2-2-2
Proposition d'amélioration	Proposer des stratégies d'amélioration au regard des résultats obtenus (puissance de chauffe, système d'arrêt, dimension de la bouilloire, choix du matériau)	CE3-2-4 CE3-3-2 CE3-3-3 CE1-3-2
		CE4-1-2

Figure 58. Fiche détaillée de l'activité pédagogique « écoconception d'une bouilloire électrique » - niveau compétent

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

4.3.2 Analyse du déroulement de l'activité avec les élèves et évaluation du dispositif

Nous aurions dû idéalement mener la première activité (l'étude de la bouilloire au niveau débutant avancé) avant de débiter celle au niveau compétent mais nous n'avons malheureusement pas eu l'opportunité de le faire. Nous avons donc indiqué aux étudiants en début de séance les principaux résultats de l'ACV de la bouilloire, à savoir (pour rappel) :

1. La consommation énergétique du produit et la constitution du cordon d'alimentation sont les deux points critiques au niveau technologique.
2. La phase d'usage représente 80% des impacts environnementaux quel que soit le design de la bouilloire (les résultats et conclusions de l'étude menée à l'Université de Manchester [Gallego-Schmid *et al.*, 2018] étaient fournis dans le dossier technique).

A partir de ces deux éléments, il est intéressant d'observer que les 2 cohortes d'étudiants n'ont pas pris les mêmes orientations de travail. Les étudiants du parcours S2IT ont rapidement focalisé leurs réflexions sur le système de chauffe comme facteur principal d'une « surconsommation » d'énergie et se sont donc plutôt intéressés à la première conclusion de l'ACV (voir plus haut). Lorsque nous les avons questionnés sur ce choix initial, deux réponses sont revenues fréquemment : 1. « *nous avons suivi l'énoncé qui nous dit de nous orienter sur le système de chauffe* » ; 2. « *l'approche technique de résolution de telle problématique est celle que nous maîtrisons le mieux* » et « *nous faisons toujours comme ça* ». Les étudiants ont sollicité les compétences que nous avons identifiées mais au-delà de la mise en œuvre de connaissances scientifiques et techniques, de pratiques d'ingénierie ou d'analyse technique, ils ont aussi confronté leurs résultats avec des aspects plus globaux tels que l'évaluation du gain réel sur les impacts liés au choix du matériaux où le design de la bouilloire est central. Ils ne sont malgré tout pas allés aussi loin que nous l'aurions imaginé car, de leur point de vue, apporter une réponse en termes de choix de matériaux était suffisante pour répondre à l'exercice. Leur vision de l'activité était donc plutôt « scolaire » : une activité = un exercice = une réponse. Les étudiants n'ont que partiellement questionné la phase d'usage et se sont peu servis de l'étude de Gallego-Schmid pour apporter des solutions autre que techniques à la problématique de la réduction de la consommation énergétique de la bouilloire. Cette étude leur a malgré tout montré, de leur propre aveu, que technologiquement il est possible d'apporter des solutions mais qu'il est nécessaire d'avoir une vision systémique et un regard critique sur les résultats obtenus et sur l'analyse que l'on en fait pour avoir la nécessaire prise de recul sur les apports effectifs des modifications liées à la conception.

Les étudiants du parcours FTEDD se sont plutôt intéressés quant à eux à l'usage et ont cherché à formaliser et définir les « mauvais usages » de la bouilloire qui sont la principale source de surconsommation d'énergie (volume d'eau chauffé trop faible, oubli de l'eau chauffée donc lancement d'un nouveau cycle de chauffe, etc.). De la même façon que nous avons interrogés les S2IT sur ce choix, nous avons questionné les FTEDD. Leur approche était un peu différente, ils avaient identifié la criticité de la consommation et du cordon d'un point de vue technique mais : 1. « *la phase d'usage représentant 80% pourquoi s'intéresser aux facteurs qui ne sont finalement pas prépondérants ?* » ; 2. « *nous ne savons pas bien mener une étude de transferts thermiques, donc si nous pouvons éviter de le faire...* ». Les étudiants nous ont demandé des éléments d'informations sur l'étude de l'écoconception des bouilloires menée à l'Université de Manchester [Gallego-Schmid *et al.*, 2018] et ils ont développé leur réflexion sur la base de ses principaux résultats et conclusions :

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

1. L'écoconception des bouilloires n'a que peu d'effets sur les quantités de matières premières employées et l'impact environnemental. Par exemple, l'allongement de 4,4 à 7 ans de la durée de vie moyenne d'une bouilloire pour ces appareils écoconçus n'aurait qu'un impact de moins de 5% sur la consommation de matières premières. Ainsi ce n'est pas tant le choix du matériau et ses caractéristiques propres qui sont remises en cause mais la criticité de l'accès à ces matériaux qui oblige à repenser l'utilisation qui en est faite.
2. La phase d'usage des bouilloires est celle qui concentre le plus d'aspects négatifs et amène le plus impacts environnementaux. Deux facteurs sont identifiés comme très influant : le contrôle de la température et le volume d'eau chauffée. Pour ce qui est du contrôle de la température, il a été démontré que les modifications techniques pour améliorer ce contrôle ne sont pas décisives. L'ajout d'un capteur de température par exemple n'apporte qu'une réduction de 2 à 5 % de l'énergie consommée sur l'ensemble du cycle de vie. Le principal problème est en fait la quantité d'eau quotidiennement chauffée en excès : le volume d'eau portée inutilement à ébullition représente jusqu'à 33 % de l'énergie consommée.

Les étudiants du parcours FTEDD se sont donc rapidement détachés de l'énoncé en ne s'intéressant pas à la résolution des questions techniques en lien avec le système de chauffe et se sont essentiellement interrogés sur l'usage de la bouilloire. La majeure partie d'entre eux a apporté des réponses sur « comment former les usagers ». Un petit groupe d'étudiants (4 en tout) a eu une approche beaucoup plus globale en faisant des connections avec des problématiques et indicateurs liés aux ODD 6 (accès à l'eau) et 7 (énergie durable) et ODD 12 (consommation et production responsable) et en posant la question de l'intérêt d'avoir une bouilloire (« *quel intérêt et quelles solutions alternatives ?* »).

Les retours des étudiants quant au choix du questionnement initial et les résultats finaux (plutôt techniques pour les uns, beaucoup moins pour les autres) peuvent laisser à penser que les différences entre les deux cohortes viennent du fait que la formation initiale des étudiants étant différentes, ils ont des habitudes de travail et des approches de résolution de problèmes différentes. Les échanges que nous avons eu avec les étudiants montrent effectivement que le contexte pédagogique dans lequel ils ont évolué dans leur parcours dans le supérieur (notamment mais pas que) a une influence sur leur façon d'aborder les sujets en lien avec la durabilité. Les formats de cours, les modalités pédagogiques, l'organisation des parcours par disciplines, les choix des thématiques des projets d'étude, les lieux de stages, etc. semblent avoir une influence sur leur façon de percevoir les problématiques de durabilité et d'y répondre. Ceci est à nuancer par le fait que nous avons à faire à des étudiants qui n'avaient ni le même recul ou la même expérience sur la question (des M1 et des M2), ni les mêmes objectifs de formation et professionnels. Les S2IT souhaitent devenir enseignants et la durabilité est un élément du programme mais ils sont surtout focalisés sur l'enseignement de leur discipline. Les FTEDD sont inscrits dans cette formation car ils visent des métiers en lien avec la transition dans les organisations et ils sont très sensibles à cette thématique et conscients qu'ils doivent renforcer leurs compétences dans ce domaine au cours de l'année de M2 car c'est la dernière avant de se retrouver sur le marché du travail (même si bon nombre d'étudiants font une à deux années de spécialisation par la suite).

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

L'activité de formation que nous avons développée devait participer du renforcement et de la validation de certains apprentissages critiques et compétences associées (Figure 59).

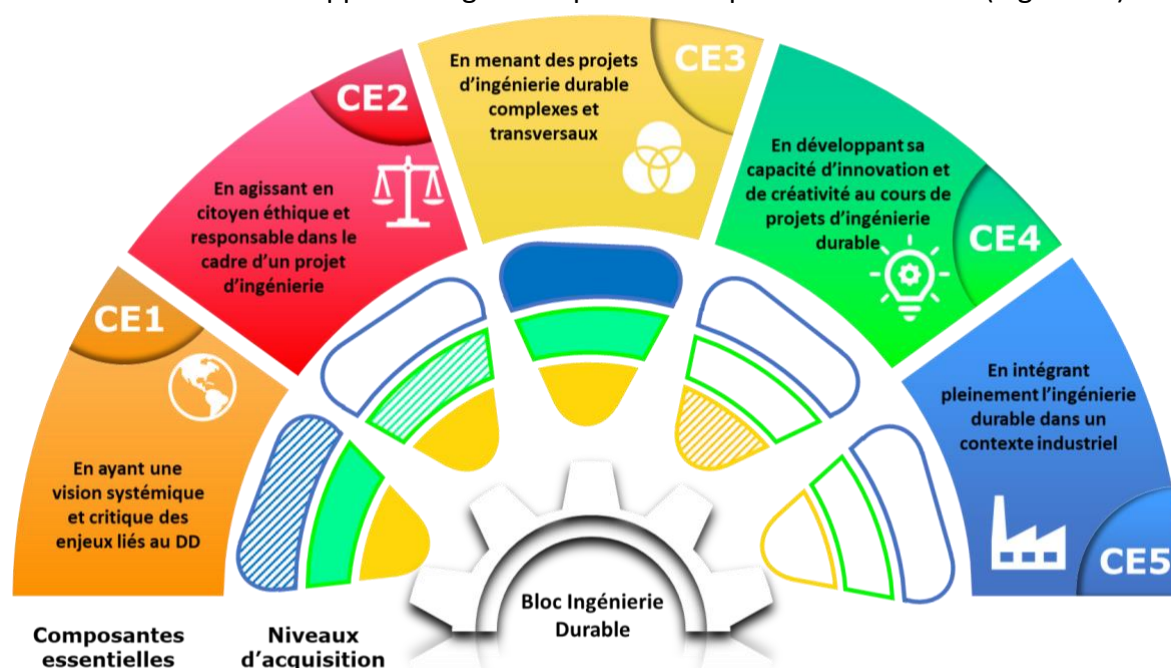


Figure 59. Composantes essentielles mobilisées et niveaux d'acquisition de celles-ci dans le cadre de l'étude de la bouilloire électrique au niveau compétent

5 Conclusion

La mise en œuvre des différentes activités de formation que nous avons proposées mettent en avant l'importance de la trajectoire d'acquisition des compétences en amont et dans le programme de formation. L'activité au niveau compétent en particulier a montré que le profil des étudiants est primordial dans l'atteinte ou non des objectifs de formation. En effet, nous avons bien constaté que l'étude que nous proposons, qui pouvait sembler très théorique et technique, était en définitive très riche en termes de mobilisation et de renforcement des méta compétences et des compétences transversales dans 4 composantes essentielles mais que ses apports étaient directement liés au profil et au prérequis des étudiants. Il ne faut donc pas proposer ce type d'activité trop tôt dans les cursus car un manque de prise de recul sur l'ingénierie durable et plus largement sur la question de la durabilité peut conduire à ce que nous rations nos objectifs pédagogiques. La construction progressive des compétences et des connaissances sur la durabilité et la prise en compte des préconceptions et points de vue initiaux des étudiants sur le développement durable, ou la relation climat-énergie par exemple, sont alors primordiales. Les équipes pédagogiques doivent donc être très attentives à la « granulométrie » (i.e. la finesse dans la description et la décomposition) des apprentissages qu'elles vont concevoir et mettre en œuvre dans tout le programme de formation afin de s'assurer qu'elle permet effectivement le développement progressif des différentes compétences des étudiants en ingénierie durable. Cette finesse dans la description des apprentissages permettra de construire et/ou déconstruire progressivement les représentations des étudiants et ainsi ajuster le niveau de compétence visé. L'objectif est de faire en sorte qu'il soit possible de construire des représentations « correctes » chez les étudiants et de déconstruire des connaissances informelles qui pourraient parfois créer une résistance à certains concepts. Pour favoriser une

Chapitre 4 - Démarche d'exploitation du modèle ROSET : exemples d'application à des activités de formation en écoconception

réorganisation des savoirs et croyances des étudiants qui sont parfois ancrés inconsciemment et de longue date chez eux, l'enjeu pour les équipes pédagogiques et les enseignants est d'organiser un programme permettant de construire progressivement les compétences pour l'ingénierie durable. Les nouvelles connaissances et compétences acquises lors des activités de formation vont venir petit à petit se greffer sur les anciennes et faire évoluer les perceptions des apprenants. Le cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques - Modèle ROSET et la matrice des compétences et apprentissages critiques sont une réponse à cet enjeu car ils conduisent à ce que les enseignants conçoivent, organisent, mettent en œuvre et évaluent leurs enseignements en :

- favorisant la réflexivité en développant des activités sur des thématiques permettant que le questionnement soit large et touche toutes les dimensions de la durabilité (si besoin en fonction du niveau attendu) ;
- guidant le questionnement des apprenants ;
- guidant l'exploration des principales dimensions des situations complexes ;
- s'assurant que les ressources utilisées sont pertinentes et de bon niveau de preuve ;
- formalisant une synthèse des apprentissages utiles à la résolution des problèmes et transférables à d'autres situations ;
- s'assurant qu'ils ont les observables, les indicateurs et les outils pour évaluer, suivre et capitaliser la progression de chaque étudiant.

Le modèle ROSET pose un cadre général décrivant les différents éléments propres à l'ingénierie durable à développer lorsque qu'un programme de formation est conçu en suivant l'approche par compétence. La matrice quant à elle complète le modèle en précisant explicitement les attendus des compétences pour les opérationnaliser lors des activités pédagogiques. Cette matrice évolutive et s'adaptant aux besoins et objectifs des formations peut aussi être exploitée pour l'évaluation et le suivi de la progression de chaque étudiant.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Nos travaux ont permis de mettre en avant que pour relever les défis environnementaux, économiques et sociétaux du XXI^e siècle, nos sociétés devaient se concentrer sur la nature du travail et des emplois futurs et s'attacher à intégrer les principes et les pratiques du développement durable à tous les aspects de l'éducation et de l'apprentissage pour favoriser l'évolution des connaissances, des valeurs et des attitudes, et ce afin de rendre possible une société plus durable et plus juste pour tous⁴⁶. Les problématiques soulevées au cours de cette recherche ont questionné les programmes de formation, les contenus enseignés, les méthodes pédagogiques adoptées et les démarches pour concevoir, mettre en œuvre et suivre l'ensemble de ces éléments.

Au niveau des programmes, même si des référentiels existent, il y a une grande disparité dans les offres car chaque établissement de par son histoire et sa culture, celles de ses équipes et la composition du corps professoral, s'approprie et « traduit » les référentiels comme il l'entend. Notre objectif n'étant pas d'uniformiser les offres de formations mais bien d'aider les équipes à développer des programmes intégrant l'ingénierie durable nous avons donc proposé un modèle pour faciliter cette intégration. Ce modèle participe de l'identification des compétences et connaissances en lien avec le développement durable à mobiliser dans les programmes et les contenus de formation. Au-delà de l'évolution des programmes, ce sont aussi les contenus qui doivent évoluer car nos constats et nos enquêtes sur le terrain montrent qu'il y a encore une forte prédominance des aspects environnementaux pour traiter les questions de développement durable dans les formations technologiques. Le fait que peu de modules de cours s'intéressent et abordent les aspects sociaux et économiques du développement durable est problématique. En effet, il est nécessaire de mobiliser ces aspects dans les formations initiales ou continues pour permettre d'appréhender et de comprendre la durabilité d'un point de vue systémique et faire face aux situations complexes, volatiles, ambiguës et incertaines (VUCA) causées par la conjoncture économique, les effets du changement climatique, etc. Enfin, développer une vision systémique, un esprit critique, une pensée complexe, une approche prospective et des compétences pour décider dans un monde complexe oblige à repenser les pratiques pédagogiques couramment utilisées dans les écoles ou universités. Nous avons montré qu'il faut sortir des représentations classiques et verticales de l'enseignement pour favoriser des méthodes basées sur le socio-constructivisme et les échanges collaboratifs entre étudiants mais également entre les enseignants et des partenaires « hors les murs ». Le système actuel, académique, technique, axé sur les connaissances (parfois éloignées des réalités du terrain) et avec une approche centrée sur l'enseignant doit progressivement faire la part belle à une approche interdisciplinaire de l'apprentissage beaucoup plus large avec une approche plus centrée sur l'étudiant, sur le monde dans lequel il vit et va vivre, et axée sur la résolution de problèmes et de projets d'ingénierie durable complexes et transversaux.

⁴⁶ « *education is the most important tool to reshape worldviews and values and has enormous potential to address the sustainability challenges facing humanity* » [Kioupi & Voulvoulis, 2019]

1 Synthèse des apports

Ces travaux de recherche ont permis de répondre à différentes questions :

1. Quelles compétences doivent développer les futurs techniciens/ingénieurs pour répondre aux enjeux de développement durable ?
2. Comment peut-on concevoir et organiser les formations du supérieur pour intégrer ces compétences ?
3. Quel cadre méthodologique peut être développé pour permettre un déploiement de ces compétences au sein des formations technologiques ?
4. Quelles activités pédagogiques pouvons-nous proposer pour éprouver ce cadre ?

Pour la première et la seconde question, nous avons mené un état de l'art approfondi présenté dans les chapitres 1 et 2. Cet état de l'art a mis en évidence un intérêt croissant pour les enjeux de durabilité dans les formations technologiques et ce quel que soit les pays et leur niveau de croissance. Il a aussi mis en avant la nécessaire évolution de nos modèles pédagogiques actuels vers des modèles favorisant une pédagogie active permettant le développement de compétences multiples et transversales. En effet un programme de formation basé sur une approche par compétences ne peut fonctionner qu'en mettant les apprenants en situation de résolution de problèmes dans une relation socio constructiviste. L'étude de la littérature a permis de montrer qu'il est nécessaire d'acquérir des méta compétences pour la durabilité et des compétences techniques reposant sur un système de valeurs développé par chaque étudiant pour entrer dans une démarche d'ingénierie durable. Ce triptyque est indispensable pour prendre en compte correctement des systèmes de plus en plus complexes, interagissant à plusieurs échelles, dans un environnement instable et volatile. Nous avons défini précisément ces compétences dans le chapitre 3 et mis en évidence qu'elles n'ont de sens que si la pédagogie associée pour les développer rentre dans un cadre de formation mettant l'accent sur la bonne sélection et le bon usage des acquis d'apprentissages dans des situations professionnelles concrètes adaptées. Nous avons donc dans ce chapitre progressivement détaillé les différentes compétences nécessaires à l'ingénierie durable et construit un cadre méthodologique pour les mettre en œuvre. Nous avons ainsi proposé un cadre de compétences en ingénierie durable pour les formations technologiques : le modèle ROSET. Ce modèle permet d'envisager une « trajectoire d'acquisition des compétences » intégrant la dimension durable et technologique de l'ingénierie ancrée dans une dimension éthique. Cette trajectoire, telle que nous l'envisageons en formation, est centrée sur la notion de situations professionnelles décomposées en tâches permettant de mettre en œuvre des compétences faisant appel à des ressources internes et externes. L'objet du modèle est de montrer en quoi l'ingénierie durable est multi-compétences, multi-niveaux et multi-acteurs puisqu'elle s'appuie sur :

- Des méta compétences pour la durabilité,
- Des compétences techniques permettant l'acquisition de connaissances propres à chaque parcours de formation et encadrées par les organismes d'accréditation,
- Une gradation dans le développement des différentes compétences depuis un niveau débutant jusqu'à un niveau compétent,
- Une description précise de ce qui est attendu pour passer d'un niveau de maîtrise à un autre.

Enfin, dans le chapitre 4, nous avons proposé différentes actions de formation avec une gradation du développement des compétences permettant d'illustrer l'exploitation de notre modèle. Les exemples présentés s'appuient sur les ODD tout en abordant les problèmes technologiques s'inscrivant dans les composantes essentielles du bloc Ingénierie Durable. Le cadre des ODD nous semble inévitable car comme le souligne l'UNESCO [UNESCO, 2020] : « *les ingénieurs sont en première ligne pour réaliser les Objectifs de développement durable en utilisant leurs connaissances scientifiques et leur expérience pour transformer des idées innovantes en projets de développement durable au bénéfice de tous* ». De plus les ODD offrent un large spectre de thématiques, de questionnements et de problématiques qui favorise le déploiement des méta compétences de la durabilité en approfondissant des compétences techniques décrites et attendus par les différents référentiels des organismes d'accréditation⁴⁷.

2 Les limites et perspectives de nos travaux de recherche

La mise en œuvre du modèle et son application au travers d'activités pédagogiques menées pour certaines dans différentes formations (cf. chapitre 4) ont mis en lumière des difficultés et des freins que nous avons déjà pointés au chapitre 2 (cf. section 4 - Problématique de l'intégration de l'ingénierie durable dans les formations technologiques du supérieur). En premier lieu, les difficultés qui apparaissent initialement sont celles liées à l'organisation et la mise en place de la transdisciplinarité dans les programmes et les cours. En effet, comme nous l'avons montré, travailler en même temps des valeurs, des méta compétences, des compétences transversales et techniques dans une même activité pédagogique obligent à mobiliser des connaissances et compétences multiples et plusieurs disciplines de l'ingénierie. C'est déjà souvent le cas dans le cadre de projets proposés aux étudiants mais la différence avec des projets « classiques », c'est qu'ici le volet « technique » du projet n'est pas forcément la finalité de l'action. Les résultats « techniques » vont peut-être être moins valorisés que les apprentissages acquis en termes de mobilisation et d'évolution des méta compétences des étudiants. Les enseignants ont donc parfois du mal à concevoir et mener de telles séances. En second lieu, c'est donc la capacité à mener de telles actions pédagogiques qui peut être questionnée et en particulier la capacité à modifier des pratiques pédagogiques pour s'orienter davantage vers de la pédagogie de projet ou de problem based learning. Ce sentiment d'incompétence ou d'illégitimité pédagogique chez certains enseignants, s'accompagne aussi souvent du même type de sentiment mais d'un point de vue « disciplinaire » dans le domaine de la durabilité. Ce sentiment est souvent le point le plus pesant pour eux. Pour pouvoir faire bouger les lignes et faire évoluer les formations pour les étudiants, il va falloir dans un premier temps s'emparer de la question de la formation des enseignants [Neves *et al.*, 2021]. Même si nous avons illustré l'utilisation du modèle ROSET seulement dans le cadre de la conception et la mise en œuvre d'offres de formations initiales, il peut également être exploité dans le cadre de la formation continuée des enseignants et adapté en fonction de leurs objectifs professionnels. Les enseignants ayant une forte culture disciplinaire, il nous semble pertinent de proposer des actions de formation mobilisant dans un premier temps les méta compétences. Elles seront à développer pour progressivement sortir d'une logique disciplinaire encore fortement présente dans les

⁴⁷ « *Considering the value-oriented, outcome-motivated nature of sustainability, previous literature has established a link between sustainability education and transformative learning. Its basic idea is to motivate change that addresses complex problems involved in the sustainability goals* » [Huang *et al.*, 2020].

Conclusion générale et perspectives

habitudes de travail des enseignants du secondaire au supérieur. Les formations des enseignants en sciences de l'ingénieur du secondaire dans les INSPE ou les actions de formations à destination des enseignants du supérieur par les missions d'appui à la pédagogie innovante dans les établissements qui en s'en sont dotés intégrant ces méta compétence existent mais ces initiatives concernent finalement un nombre extrêmement réduit d'enseignants et ont donc un effet limité. Enfin, une des limites de notre proposition vient du fait que notre modèle s'appuie sur l'hypothèse qu'il existe une forme de continuité des apprentissages (même partielle) entre le supérieur et le secondaire. Les étudiants devraient donc être en mesure de mobiliser des notions acquises lors de leur formation dans le secondaire au cours d'activités à l'université ou en écoles d'ingénieurs. Dans les faits, nous pouvons constater que la majorité des étudiants ne possèdent pas toujours les prérequis nécessaires pour entrer dans une démarche d'ingénierie durable. Il est donc important que les enseignants soient capables d'évaluer le niveau de connaissances et de compétences des étudiants arrivant en postbac mais évaluent également leur capacité à évoluer dans des modèles d'apprentissage socio-constructivistes.

Pour apporter des réponses à ces différents questionnements en lien avec nos travaux pour le moment assez théoriques, l'étape suivante consiste à évaluer le degré de faisabilité de la mise en œuvre du modèle dans la pratique par une consultation et une implication élargie des enseignants dans les formations. Une telle approche devrait permettre de renforcer nos propositions au niveau de la description des composantes essentielles et d'aboutir à des critères d'évaluation et de validation de maîtrise des compétences plus précis. Tout ceci ne peut être travaillé qu'en collaboration avec l'ensemble des acteurs de la formation (étudiants, enseignants, Alumni, professionnels,...) et en s'appuyant sur un support d'évaluation des compétences coconstruit pour rendre le dispositif complètement opérationnel. Ce support, qui pourrait prendre la forme d'un e-portfolio par exemple, aurait le double avantage de donner aux enseignants une traçabilité des compétences acquises par les étudiants et de permettre aux étudiants d'avoir un outil qui rende compte de leurs apprentissages. Ce e-portfolio permettrait aux enseignants de travailler de façon collaborative sur un outil commun. Il peut d'une certaine façon favoriser l'interdisciplinarité au cours d'une situation problème proposée aux étudiants où chaque enseignant se sentirait légitime dans son champ d'expertise pour valider une compétence. Du point de vue des étudiants, le e-portfolio permet une forme d'autonomie dans la gestion de ses évaluations. En effet avec cet outil, il peut rendre compte à tout moment par un échantillon de preuves sélectionnées de ses apprentissages. C'est aussi un moyen de valoriser ses compétences auprès des recruteurs cherchant des étudiants ayant reçu une formation sur les aspects de durabilité. Il serait alors essentiel pour nous de pouvoir analyser comment chaque acteur et chaque parcours de formation s'approprie notre modèle, y associerait éventuellement des outils supports, pour que nous puissions ainsi développer des stratégies d'accompagnement pour chaque profil.

Enfin, au-delà des programmes, un autre axe fort de travail est relatif aux institutions et à leur réelle volonté de s'engager dans une véritable réforme de leurs cursus avec une approche par compétences et non un simple affichage de façade visant à juxtaposer des compétences sur des modules existants⁴⁸. L'une des perspectives de nos travaux concerne donc la question de

⁴⁸ « *It also found that to enhance sustainability in the curricula, academics should develop collaborative approaches, and discuss how to redesign their own disciplines, and how to appreciate the epistemology and multicultural vision of sustainability, both as a topic, and as a field of education research* » [Filho et al., 2018].

Conclusion générale et perspectives

la valorisation de ce bloc de compétences au niveau des institutions et de sa reconnaissance à un niveau local puis national dans le cadre d'un label ou une certification déjà existant et reconnu (le label DD&RS⁴⁹ par exemple). L'objectif est bien que les universités et les écoles d'ingénieurs encouragent l'utilisation de ce bloc de compétences au sein de leurs formations initiales mais le proposent aussi dans le cadre de leur offre de formation tout au long de la vie réservée à leurs personnels, de toutes les catégories professionnelles (enseignants comme BIATSS⁵⁰).

⁴⁹ <https://www.label-ddrs.org/>

⁵⁰ Personnels non enseignants de l'enseignement supérieur – BIATSS (Bibliothécaires, ingénieurs, administratifs, techniciens, personnels sociaux et de santé)

Bibliographie

- Abdul-Wahab, S. A., Abdulraheem, M. Y., & Hutchinson, M. (2003). The need for inclusion of environmental education in undergraduate engineering curricula. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 4(2), 126-137. <https://doi.org/10.1108/14676370310467140>
- Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET). (2021). <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2020-2021/>
- Adair, D., & Jaeger, M. (2016). Incorporating Critical Thinking into an Engineering Undergraduate Learning Environment. *International Journal of Higher Education*, 5(2), 23-39.
- Al'tshuller, G. S. (1999). *The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Technical innovation center, Inc..
- Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, 30(3), 305–315. <https://doi.org/10.1177/0269094215578226>
- Ashford, N.A., (2004). Major challenges to engineering education for sustainable development. *Int. J. Sustain. High Educ.* 5, 239-250. <https://doi.org/10.1108/14676370410546394>
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Atta-Ur-Rahman, Shaw R. (2015). Disaster and Climate Change Education in Pakistan. In: Rahman AU., Khan A., Shaw R. (eds) *Disaster Risk Reduction Approaches in Pakistan. Disaster Risk Reduction (Methods, Approaches and Practices)*. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55369-4_17
- Audigier, F., Fink, N., Freudiger, N., et Haerberli, P. (Eds.). (2011). *L'Éducation en vue du développement durable : sciences sociales et élèves en débats*. (Vol. 130). Genève, Suisse: Cahiers de la Section des Sciences de l'Éducation.
- Ávila, L. V., Leal Filho, W., Brandli, L., Macgregor, C. J., Molthan-Hill, P., Özuyar, P. G., & Moreira, R. M. (2017). Barriers to innovation and sustainability at universities around the world. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1268-1278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.025>
- Banerjee, S., Upadhyay, P., & Punekar, R. M. (2019). Teaching design for sustainability for socioeconomic ecosystems—Three case studies. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 135(January), 935-946. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5977-4_78

Bibliographie

- Baouch, Y. (2016). Améliorer les démarches d'écoconception en prenant en compte les connaissances locales (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- Barma, S., Lacasse, M., & Massé-Morneau, J. (2015). Engaging discussion about climate change in a Quebec secondary school: A challenge for science teachers. *Learning, Culture and Social Interaction*, 4, 28-36.
- Barth, M., Godemann, J., Rieckmann, M., & Stoltenberg, U. (2007). Developing key competencies for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(4), 416-430. <https://doi.org/10.1108/14676370710823582>
- Barthes, A., & Alpe, Y. (2012). Les éducations à, un changement de logique éducative ? L'exemple de l'éducation au développement durable à l'université. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 50(1). <https://doi.org/10.3406/spira.2012.1100>
- Basque, J., & Rogozan, D. (2013). Vers une méthode d'ingénierie de l'approche-programme en enseignement supérieur. Dans *Actes du VIIe colloque Questions de pédagogies dans l'enseignement supérieur (QPES). Les innovations pédagogiques en enseignements supérieur : Pédagogies actives en présentiel et à distance* (p. 578-588). Sherbrooke, Canada.
- Basque, J. (2015). Le concept de compétences : Quelques définitions. Montréal, Canada : Projet MAPES (Modélisation de l'approche-programme en enseignement supérieur), Réseau de l'Université du Québec. Accessible en ligne sur le Portail de soutien à la pédagogie universitaire du réseau de l'Université du Québec : <http://pedagogie.quebec.ca>
- Beckers, J. (2002). *Développer et évaluer des compétences à l'école : vers plus d'efficacité et d'équité*, Bruxelles : Labor
- Benavot, A. (2014). *Education for Sustainable Development in Primary and Secondary Education*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1978.9283>
- Berger, G. (1959). L'attitude prospective. *L'Encyclopédie française*, 20.
- Berglund, A., & Heintz, F. (2014). Integrating soft skills into Engineering Education for increased student throughput and more professional engineers. *LTHs 8e Pedagogiska Inspirationskonferens*, (december). Lund, Sweden Lunds Univ
- Bertrand, C. (2014). *Soutenir la transformation pédagogique dans l'enseignement supérieur*. 38. Consulté à l'adresse <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid82478/soutenir-la-transformation-pedagogique-dans-l-enseignement-superieur.html>

Bibliographie

- Bhamra, T., & Hernandez, R. J. (2021). Thirty years of design for sustainability: an evolution of research, policy and practice. *Design Science*, 7(Rainey 2006), 1-17. <https://doi.org/10.1017/dsj.2021.2>
- Biswas, W.K. (2012). The importance of industrial ecology in engineering education for sustainable development. *Int. J. Sustain. High Educ.* 13, 119-132. <https://doi.org/10.1108/14676371211211818>.
- Boakye, C. (2015). Climate change education: The role of pre-tertiary science curricula in Ghana. *SAGE Open*, 5(4), 2158244015614611.
- Bologna Declaration. (1999). The Bologna Declaration of 19 June 1999. *The European Higher Education Area*.
- Bonnafous, S. (2017). La notion de bloc de compétences dans l'enseignement supérieur. Récupéré sur Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle
- Bouret, J., Hoarau, J., & Mauléon, F. (2014). *Le réflexe soft skills: Les compétences des leaders de demain*. Dunod.
- Brambila-Macias, S. A., & Sakao, T. (2021). Effective ecodesign implementation with the support of a lifecycle engineer. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123520. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123520>
- Brégeon, J., Faucheux, M. S., Rochet, M. C., & Valantin, M. J. M. (2008). Rapport du groupe de travail interministériel sur l'éducation au développement durable. *Paris, MEN*.
- Brones, F. A., Carvalho, M. M. de, & Zancul, E. de S. (2017). Reviews, action and learning on change management for ecodesign transition. *Journal of Cleaner Production*, 142, 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.009>
- Brundtland, R. (1987). Our Common Future, rapport de Madame Gro Harlem Brundtland à la Commission mondiale pour l'environnement et le développement. *Nations unies*.
- Brunet, L. E. (2015). *Créativité en ingénierie Créativité en ingénierie*. 33(0).
- Bryce, P., Johnston, S., Yasukawa, K. (2004). Implementing a program in sustainability for engineers at university of technology, sydney. *Int. J. Sustain. High Educ.* 5, 267-277. <https://doi.org/10.1108/14676370410546411>
- Buckler, C., & Creech, H. (2014). *Façonner l'avenir que nous voulons-Décennie des Nations Unies pour l'éducation au service du développement durable (2005-2014)*.
- Buil-Fabregá, M., Martínez Casanovas, M., Ruiz-Munzón, N., & Filho, W. L. (2019). Flipped Classroom as an Active Learning Methodology in Sustainable Development Curricula. *Sustainability*, 11(17), 4577. <https://doi.org/10.3390/su11174577>

Bibliographie

- Burbules, N. C., Fan, G., & Repp, P. (2020). Five trends of education and technology in a sustainable future. *Geography and Sustainability*, 1(2), 93-97.
- Bürgener, L., & Barth, M. (2018). Sustainability competencies in teacher education: Making teacher education count in everyday school practice. *Journal of Cleaner Production*, 174, 821-826.
- Cadieux, N. (2021). Relations industrielles Éthique professionnelle et éthique en ingénierie Professional Ethics and Ethics in Engineering Ética profesional y ética en ingeniería Éthique professionnelle et éthique en ingénierie.
- Callon, M., Lascoumes, P., & Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain : essai sur la démocratie technique*. Seuil.
- Canney, N., & Bielefeldt, A. (2015). A framework for the development of social responsibility in engineers. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 414-424.
- Carew, A. L., & Mitchell, C. A. (2002). Characterizing undergraduate engineering students' understanding of sustainability. *European Journal of Engineering Education*, 27(4), 349-361. <https://doi.org/10.1080/03043790210166657>
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118-163. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>
- Chaibate, H. (2017). Skills for employability: Identification of the Soft Skills required in engineering education. *The Journal of Quality in Education*. <https://doi.org/10.37870/joqie.v7i9.5>
- Chalmeau, R., Since, C. & Méallet, S. (2020). Comment les élèves justifient le choix d'un téléphone portable : Prendre en compte différentes dimensions du développement durable pour problématiser à l'école primaire. *Éducation & didactique*, 14, 91-112. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.7866>
- Chang, C. H., & Pascua, L. (2017a). The curriculum of climate change education: A case for Singapore. *The Journal of Environmental Education*, 48(3), 172-181.
- Chang, C. H., & Pascua, L. (2017b). The state of climate change education—reflections from a selection of studies around the world.
- Chauvigné, C., & Coulet, J.-C. (2010). L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue française de pédagogie*, 172(3), 15-28. Consulté à l'adresse <http://www.cairn.info/revue-francaise-de-pedagogie-2010-3-page-15.htm>
- Cheetham, G., & Chivers, G. (1996). Towards a holistic model of numeracy competence. *Journal of European Industrial Training*, 20(5), 20-30. Consulté à l'adresse <http://www.alm-online.net/images/ALM/proceedings/alm-01->

Bibliographie

proceedingsalm8.pdf#page=185

Chester, M. V., & Allenby, B. (2019). Infrastructure as a wicked complex process. *Elementa*, 7(1). Franceps://doi.org/10.1525/elementa.360

Clément, P., & Caravita, S. (2011). *Education pour le Développement Durable (EDD) et compétences des élèves dans l ' enseignement secondaire To cite this version : HAL Id : hal-01026073 Education pour le Développement Durable (EDD) et compétences des élèves*. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026073/document>

Commission des titres d'ingénieur (CTI). (2020). Références et orientations de la commission des titres d'ingénieur.

https://api.cti-commission.fr/uploads/documents/backend/document_25_fr_references-et-orientations-livre-1_07-02-2020.pdf

Commission des titres d'ingénieur (CTI). (1934).

Commission des titres d'ingénieur (CTI). (2021). <https://www.cti-commission.fr/>

[Considère, S. & Tutiaux-Guillon, N. \(2013\). L'éducation au développement durable : entre « éducation à » et disciplines scolaires. *Recherches en didactiques*, 15, 111-133. https://doi.org/10.3917/rdid.015.0111](https://doi.org/10.3917/rdid.015.0111)

Cooke, P., & Leydesdorff, L. (2006). Regional Development in the Knowledge-Based Economy: The Construction of Advantage. *The Journal of Technology Transfer*, 31(1), 5–15. <https://doi.org/10.1007/s10961-005-5009-3>

Crawford, J., Butler-Henderson, K., Rudolph, J., Malkawi, B., Glowatz, M., Burton, R. & Lam, S. (2020). COVID-19: 20 countries' higher education intra-period digital pedagogy responses. *Journal of Applied Learning & Teach^{ing}*, 3(1), 1-20.

Crawley, E. (2002). Creating the CDIO Syllabus, a universal template for engineering education: *Frontiers in Education*, 2002. FIE 2002. 32nd Annual page (s): F3F-8-F3F-13 Vol. 2. ISSN: 0190, 5848.

Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D., & Edström, K. (2014). Rethinking Engineering Education The CDIO Approach. In *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1109/FIE.2017.8190506>

Crofton, F.S. (2000). Educating for sustainability: opportunities in undergraduate engineering. *J. Clean. Prod.* 8, 397e405. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00043-3).

Cutter-Mackenzie, A., & Rousell, D. (2019). Education for what? Shaping the field of climate change education with children and young people as co-researchers. *Children's Geographies*, 17(1), 90-104.

Darwish, M. M., Agnello, M. F., & Burgess, R. (2010). Incorporating Sustainable Development

Bibliographie

- And Environmental Ethics Into Construction Engineering Education. (1992), 1-10.
- Das Neves, R. M., Lima, R. M., & Mesquita, D. (2021). Teacher Competences for Active Learning in Engineering Education. *Sustainability*, 13(16), 9231.
- Davis, J. (2010). Early childhood education for sustainability: Why it matters, what it is, and how whole centre action research and systems thinking can help. *Journal of Action Research Today in Early Childhood*, 2010 (April), 35-44.
- De Bono, E. (1985). The CoRT thinking program. *Thinking and learning skills*, 1, 363-378.
- De Haan, G. (2006). The BLK '21' programme in Germany: A 'Gestaltungskompetenz'-based model for Education for Sustainable Development. *Environmental Education Research*, 12(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/13504620500526362>
- Dekoninck, E. A., Domingo, L., O'Hare, J. A., Pigosso, D. C. A., Reyes, T., & Troussier, N. (2016). Defining the challenges for ecodesign implementation in companies: Development and consolidation of a framework. *Journal of Cleaner Production*, 135, 410–425. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.045>
- Desha, C.J., Hargroves, K. (2010). Surveying the state of higher education in energy efficiency, in Australian engineering curriculum. *J. Clean. Prod.* 18, pp. 652-658. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.07.004>.
- De Vere, I., Bissett Johnson, K., & Thong, C. (2009). Educating the responsible engineer: Socially responsible design and sustainability in the curriculum. DS 59: Proceedings of E and PDE 2009, the 11th Engineering and Product Design Education Conference - Creating a Better World, (September), 532-537.
- Demerval, R., & White, F. (1993). La psychologie de Vygotsky et la pédagogie de la situation-problème : remarques et commentaires. *Spirale. Revue de recherches en éducation*, 10(1), 29-37. <https://doi.org/10.3406/spira.1993.1752>
- Derouet, A., & Paye, S. (2010). *Quand les ingénieurs débattent de leur formation non technique : socio-histoire d'un processus de repositionnement professionnel.*
- Dewey, J. (1938). *Experience and Education.* New York: Macmillan Company
- Diamond, J. (2006). *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie,* Paris, Gallimard, Collection « NRF Essais ».
- Dias de Figueiredo, A. (2014). De la nature historique des pratiques d'ingénierie. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 8,2, 245-278. <https://doi.org/10.3917/rac.023.0245>
- Diaz-García, C., González-Moreno, Á., & Sáez-Martínez, F. J. (2015). Eco-innovation: Insights from a literature review. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 17(1), 6-23. <https://doi.org/10.1080/14479338.2015.1011060>

Bibliographie

- Diemer, A. (2013). L'éducation au développement durable, une affaire de représentation. *Revue Francophone du développement durable*, 1, 30-59.
- Doorn, N., & Kroesen, J. O. (2013). Using and Developing Role Plays in Teaching Aimed at Preparing for Social Responsibility. *Science and Engineering Ethics*, 19(4), 1513-1527. <https://doi.org/10.1007/s11948-011-9335-6>
- Doran, G. T. (1981). There's a SMART way to write management's goals and objectives. *Management review*, 70(11), 35-36.
- Dowell, E., Baum, E., & McTague, J. (1994). The green report: engineering education for a changing world.
- Dreyfus, S. E. (2004). The five-stage model of adult skill acquisition. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 24(3), 177-181. <https://doi.org/10.1177/0270467604264992>
- Du, X., Su, L., & Liu, J. (2013). Developing sustainability curricula using the PBL method in a Chinese context. *Journal of Cleaner Production*, 61, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.012>
- Eames, C., Roberts, J., Cooper, G., & Hipkins, R. (2010). Education for sustainability in New Zealand schools: An evaluation of three professional development programmes. *NZCER Report to the Ministry of Education*.
- Eberle, R. F. (1972). Developing imagination through scamper. *Journal of Creative Behavior*.
- Edvardsson Björnberg, K., Skogh, I.-B., Strömberg, E. (2015). Integrating social sustainability in engineering education at the KTH Royal Institute of Technology. *Int. J. Sustain. High Educ.* 16, 639-649. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-01-2014-0010>
- El-Zein, A., Airey, D., Bowden, P., & Clarkeburn, H. (2008). Sustainability and ethics as decision-making paradigms in engineering curricula. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(2), 170-182. <https://doi.org/10.1108/14676370810856314>
- Empson, T., Chance, S., & Patel, S. (2019). A critical analysis of 'creativity' in sustainable production and design. *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering and Product Design Education: Towards a New Innovation Landscape, E and PDE 2019*, (September). <https://doi.org/10.35199/epde2019.4>
- Enelund, M., Wedel, M. K., Lundqvist, U., & Malmqvist, J. (2012). Integration of Education for Sustainable Development in a Mechanical Engineering Programme. *Cdio 2012 Qut*.
- Ennis, R.H. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership*, p. 45
- Escrig, B. (2019). *De la méconnaissance du concept de compétence Benoît Escrig To cite this*

Bibliographie

version : HAL Id : hal-02290509.

European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAAE). (2021). <https://www.enaee.eu>

Eurydice. (2011). L'enseignement des sciences en Europe: politiques nationales, pratiques et recherche. doi:10.2797/72447

Faucher, C. (2012). Développement d'un modèle de raisonnement clinique par son explicitation auprès d'optométristes de deux niveaux d'expertise contrastants. *Recherches qualitatives*, 31(2), 79-107. Consulté à l'adresse <http://www.recherche-qualitative.qc.ca/Revue.html>

Felder, R. M., & Brent, R. (2004). The intellectual development of science and engineering students. Part 1: Models and challenges. *Journal of Engineering Education*, 93(4), 269-277. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00816.x>

Fenner, R.A., Ainger, C.M., Cruickshank, H.J., Guthrie, P.M.2 (2005). Embedding sustainable development at cambridge university engineering department. *Int. J. Sustain. High Educ.* 6, 229e241. <https://doi.org/10.1108/14676370510607205>.

Filho, W. L. (2009). Towards the Promotion of Education for Sustainability. *Revista de Educacion*, (SPEC. ISSUE), 263-277.

Filho, W. L. (2011). About the Role of Universities and their contribution to sustainable development. *Higher Education Policy*, 24(4), 427-438. <https://doi.org/10.1057/hep.2011.16>

Fiselier, E. S., Longhurst, J. W., & Gough, G. K. (2018). Exploring the current position of ESD in UK higher education institutions. *International Journal of Sustainability in Higher Education. national Journal of Sustainability in Higher Education*, 19(2), 393-412. <https://doi.org/10.1108/IJSHFrance6-2017-0084>

Forest, J., Chouteau, M., Nguyen, C., Forest, J., Chouteau, M., Nguyen, C., & De, C. (2011). *Conceptions de l'innovation et formations de l'ingénieur To cite this version : HAL Id : halshs-00631385.*

Frisk, E., & Larson, K. L. (2011). Journal of Sustainability Education Vol. 2, March 2011 ISSN: 2151-7452. *Journal of Sustainability Education*, 2(March).

Gagnon, B., Leduc, R., & Savard, L. (2009). Sustainable development in engineering: A review of principles and definition of a conceptual framework. *Environmental Engineering Science*, 26(10), 1459-1472. <https://doi.org/10.1089/ees.2008.0345>

Gallego-Schmid, A., Jeswani, H. K., Mendoza, J. M. F., & Azapagic, A. (2018). Life cycle environmental evaluation of kettles: Recommendations for the development of eco-design regulations in the European Union. *Science of the Total Environment*, 625,

Bibliographie

135-146. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.262>

Gao, W., Ding, X., Chen, R., & Min, W. (2019). An empirical study of the role of higher education in building a green economy. *Sustainability*, *11*(23), 6823.

Genalo, L. J., Schmidt, D. A., & Schiltz, M. (2004). Piaget and engineering education. *ASEE Annual Conference Proceedings*, 11021-11030. <https://doi.org/10.18260/1-2--13150>

Georges, F., & Poumay, M. (2020). *Rédiger le référentiel de compétences du Bachelor universitaire de technologie Le référentiel : la colonne vertébrale de la formation*. 1-17.

GIEC, (2014). *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p

GIEC, (2018). V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, et al.: Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C,: Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; Organisation météorologique mondiale, pp.32, 2019, 978-92-9169-251-4. hal-03336102

Goritz, A., Kolleck, N., & Jörgens, H. (2019). Education for sustainable development and climate change education: The potential of social network analysis based on twitter data. *Sustainability*, *11*(19), 5499.

Graham, R. (2018). The Global State of the Art in Engineering Education. In Mit.

Grintner, L. E. (1955). Summary of the Report on Evaluation of Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, (January), 25-60.

Guerra, A. (2017). Integration of sustainability in engineering education. *Int. J. Sustainable High Educ.* *18*, 436-454. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2016-0022>.

Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, Vol. 5, Issue 9, pp. 444-454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>

Haase, S. (2013). An Engineering Dilemma: Sustainability in the Eyes of Future Technology Professionals. *Science and Engineering Ethics*, *19*(3), 893-911. <https://doi.org/10.1007/s11948-012-9417-0>

Hadgraft, R. G., & Kolmos, A. (2020). Emerging learning environments in engineering education. *Australasian Journal of Engineering Education*, *25*(1), 3-16. <https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1713522>

Bibliographie

- Hanning, A., Priem Abelson, A., Lundqvist, U., Svanström, M. (2012). Are we educating engineers for sustainability? *Int. J. Sustain. High Educ.* 13, 305-320. <https://doi.org/10.1108/14676371211242607>.
- Harel, I., & Papert, S. (1991). Situating Constructionism. *Constructionism*, 1-16.
- Hess, D. J., & Collins, B. M. (2018). Climate change and higher education: Assessing factors that affect curriculum requirements. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1451-1458.
- Hess, D. J., & Maki, A. (2019). Climate change belief, sustainability education, and political values: Assessing the need for higher-education curriculum reform. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1157-1166.
- Hestness, E., McGinnis, J. R., & Breslyn, W. (2015). Integrating Sustainability into Science Teacher Education Through a Focus on Climate Change. In S. K. Stratton, R. Hagevik, A. Feldman, & M. Bloom (Eds.), *Educating Science Teachers for Sustainability* (pp. 143–162). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16411-3_9
- Hidalgo, L., & Fuentes, J. (2013). The Development of Basic Competencies for Sustainability in Higher Education: An Educational Model. *Online Submission*, 3(6), 447-458.
- Ho, L. C., & Seow, T. (2015). Teaching controversial issues in geography: Climate change education in Singaporean schools. *Theory & Research in Social Education*, 43(3), 314-344.
- Hokanson, D. R., Mihelcic, J. R., & Phillips, L. D. (2006). Educating undergraduate & graduate engineers to achieve a more sustainable future: education & diversity initiatives with a global perspective. *International Journal of Engineering Education*.
- Hopkinson, P., James, P. (2010). Practical pedagogy for embedding ESD in science, technology, engineering and mathematics curricula. *Int. J. Sustain. High Educ.* 11, 365-379.
- Howells, K. (2018). The future of education and skills: education 2030: the future we ant.
- Huang, Z., Peng, A., Yang, T., Deng, S., & He, Y. (2020). A design-based learning approach for fostering sustainability competency in engineering education. *Sustainability*, 12(7), 2958.
- Huntzinger, D. N., Hutchins, M. J., Gierke, J. S., & Sutherland, J. W. (2007). Enabling sustainable thinking in undergraduate engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 23(2), 218-230.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

Bibliographie

In Press.

- Iyer-Raniga, U., Andamon, M.M. (2016). Transformative learning: innovating sustainability education in built environment. *Int. J. Sustain. High Educ.* 17, 105-122. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2014-0121>.
- ISO (2020). ISO 14006:2020. Environmental management systems — Guidelines for incorporating ecodesign
- ISO (2003). ISO 14062:2003. Norme XP ISO/TR 14062. Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit. AFNOR, janvier 2003.
- ISO (2010). ISO 26000/2010. Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale
- Jamison, A. (2012). *Engineering, Development and Philosophy*. 11, 7-21. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5282-5>
- Jamison, A., Kolmos, A., & Holgaard, J. E. (2014). Hybrid Learning: An integrative approach to engineering education. *Journal of Engineering Education*, 103(2), 253-273. <https://doi.org/10.1002/jee.20041>
- Jesiek, B. K., Zhu, Q., Woo, S. E., Thompson, J., & Mazzurco, A. (2014). Online Journal for Global Engineering Education Global Engineering Competency in Context: Situations and Behaviors. *Online Journal for Global Engineering Education*, 8(1).
- JONAS, H. (1998). Sur le fondement ontologique d'une éthique du futur. *Pour une éthique du futur*.
- Jonnaert, P. (2011). Sur quels objets évaluer des compétences? *Education & Formation*, (296), 32-43. Consulté à l'adresse <http://www.er.uqam.ca/nobel/cudcu/publication/ref/15evaluation.pdf#page=31>
- Jorgenson, S. N., Stephens, J. C., & White, B. (2019). Environmental education in transition: A critical review of recent research on climate change and energy education. *The Journal of Environmental Education*, 50(3), 160-171.
- Kamp, L. (2006). Engineering education in sustainable development at delft university of technology. *J. Clean. Prod.* 14, 928-931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.036>.
- Kamp, A. (2016). Engineering education in the rapidly changing world: rethinking the vision for higher engineering education.
- Kamsah, M. Z. (2004). Developing Generic Skills in Classroom Environment: Engineering. *Jurnal University Teknologi Malaysia*, 2(1).
- Kattwinkel, D., & Bender, B. (2020). Competences for the Development of Ecodesign

Bibliographie

- Products. Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 1, 1735-1744. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.43>
- Ki-Moon, B. (2014). The road to dignity by 2030: ending poverty, transforming all lives and protecting the planet. *Synthesis report of the Secretary-General on the post-2015 sustainable development agenda*. New York: United Nations
- Kioupi, V., & Voulvoulis, N. (2019). Education for sustainable development: A systemic framework for connecting the SDGs to educational outcomes. *Sustainability*, 11(21), 6104.
- Kolb, M., Fröhlich, L., & Schmidpeter, R. (2017). Implementing sustainability as the new normal: Responsible management education—From a private business school's perspective. *The International Journal of Management Education*, 15(2), 280-292.
- Kolmos, A., Hadgraft, R. G., & Holgaard, J. E. (2015). Response strategies for curriculum change in engineering. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(3), 391-411. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9319-y>
- Kovacs, S. (2012). L'éducation au développement durable, entre agir et comprendre: étude au sein de quatre collèges français. *Spirale-Revue de recherches en éducation*, 50(1), 225-237.
- Lambrechts, W., Mulà, I., Ceulemans, K., Molderez, I., & Gaeremynck, V. (2013). The integration of competences for sustainable development in higher education: An analysis of bachelor programs in management. *Journal of Cleaner Production*, 48, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.034>
- Lans, T., Blok, V., & Wesselink, R. (2014). Learning apart and together: Towards an integrated competence framework for sustainable entrepreneurship in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 62, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.036>
- Laurie, R., Nonoyama-Tarumi, Y., Mckeown, R., & Hopkins, C. (2016). Contributions of Education for Sustainable Development (ESD) to Quality Education: A Synthesis of Research. *Journal of Education for Sustainable Development*, 10(2), 226–242. <https://doi.org/10.1177/0973408216661442>
- Lebatteux, N., & Legardez, A. (2011). Rapport aux savoirs sur le développement durable en contexte scolaire: obstacles à la mise en œuvre d'un Agenda 21 en France. *Revue HEP, Éducation au développement durable, École et formation des enseignants: enjeux, stratégies et pistes*, 13, 179-199.
- Le Boterf, G. (1994). De la compétence. *Essai sur un attracteur étrange*.
- Le Boterf, G. (2001). *Construire les compétences individuelles et collectives*. Ed. d'Organisation.

Bibliographie

- Le Boterf G. (2006). *Ingénierie et évaluation des compétences*, Éditions d'Organisation.
- Le Boterf, G. (2015). *Construire les compétences individuelles et collectives : Agir et réussir avec compétences, les réponses à 100 questions*. Editions Eyrolles.
- Legifrance.(2013). LOI n° 2013-595 du 8 juillet 2013 d'orientation et de programmation pour la refondation de l'école de la République
- Legifrance.(2014). LOI n° 2014-288 du 5 mars 2014 relative à la formation professionnelle, à l'emploi et à la démocratie sociale
- Légifrance. (2018). LOI n° 2018-771 du 5 septembre 2018 pour la liberté de choisir son avenir professionnel
- Legifrance.(2019a). Arrêté du 6 décembre 2019 portant réforme de la licence professionnelle
- Legifrance.(2019b). LOI n° 2019-791 du 26 juillet 2019 pour une école de la confiance
- Lehtonen, A., Salonen, A., Cantell, H., & Riuttanen, L. (2018). A pedagogy of interconnectedness for encountering climate change as a wicked sustainability problem. *Journal of Cleaner Production*, 199, 860-867.
- Leicht, A., Heiss, J., & Byun, W. J. (2018). *Issues and trends in education for sustainable development* (Vol. 5). Unesco Publishing.
- Leifler, O., & Dahlin, J. E. (2020). Curriculum integration of sustainability in engineering education – a national study of programme director perspectives. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(5), 877-894. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-09-2019-0286>
- Lemaître, D. (2021). *LaFranceisation des SHS dans la formation des ingénieurs au développement durable*. 1-6.
- Le Moigne J.-L. (1994). *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, 4ème édition, PUF, (systèmes-décisions).
- Le Moigne J.-L. (2012). *Les épistémologies constructivistes*, Presses Universitaires de France, Paris cedex 14 (Que sais-je ?).
- Lenoir, Y. (2002). Les réformes actuelles de la formation à l'enseignement en France et aux États-Unis: éléments de mise en perspective socio-historique à partir du concept d'éducation. *Swiss Journal of Educational Research*, 25(1), 91-128. <https://doi.org/10.24452/sjer.25.1.4623>
- Lenoir, Y., & Sauvé, L. (1998). Introduction. L'interdisciplinarité et la formation à l'enseignement primaire et secondaire : quelle interdisciplinarité pour quelle formation? *Revue des sciences de l'éducation*, 24(1), 3-29. <https://doi.org/10.7202/031959ar>

Bibliographie

- Liebert, W. J. (2013). Preparing to Understand and Use Science in the Real World: Interdisciplinary Study Concentrations at the Technical University of Darmstadt. *Science and Engineering Ethics*, 19(4), 1533-1550. <https://doi.org/10.1007/s11948-013-9488-6>
- Liu, S., Roehrig, G., Bhattacharya, D., & Varma, K. (2015). In-service teachers' attitudes, knowledge and classroom teaching of global climate change.
- Loisy, C., & Coulet, J. (2018). *Compétences et approche-programme* (Vol. 2).
- Lourdé, N. (2005). *Méthodes pédagogiques et représentation de la compréhension du développement durable : application à la formation des élèves ingénieurs HAL Id : tel-00781854*.
- Lozano, F. J., & Lozano, R. (2014). Developing the curriculum for a new Bachelor's degree in Engineering for Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, 64, 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.022>
- Lozano, R., & Young, W. (2013). Assessing sustainability in university curricula: Exploring the influence of student numbers and course credits. *Journal of Cleaner Production*, 49, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.032>
- Lundholm, C. (2019). Where to look and what to do? Blank and bright spots in research on environmental and climate change education.
- Luthe, T., Lumpe, T., Schwarz, J., Schütz, M., & Shea, K. (2017). Teaching systemic design for sustainability in engineering by building eco skis. Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 1(DS87-1), 189-198.
- Malmquist, A., Lundgren, T., Hjerpe, M., Glaas, E., Turner, E., & Storbjörk, S. (2021). Vulnerability and adaptation to heat waves in preschools: Experiences, impacts and responses by unit heads, educators and parents. *Climate Risk Management*, 31, 100271.
- Manifeste étudiant pour un réveil écologique. (2018). <https://manifeste.pour-un-reveil-ecologique.org/fr>
- Margallo, M., Dominguez-Ramos, A., & Aldaco, R. (2019). Incorporating life cycle assessment and ecodesign tools for green chemical engineering: A case study of competences and learning outcomes assessment. *Education for Chemical Engineers*, 26, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.08.002>
- Martin, P., & Ho, S. (2009). Seeking resilience and sustainability: Outdoor education in Singapore. *Journal of Adventure Education & Outdoor Learning*, 9(1), 79-92.
- Martin, S., McCoshan, A., & McEwen, L. (2014). Embedding sustainability into the higher education curriculum: lessons from the UK's green academy change programme. In *Proceeding of the 4th World Sustainability Forum Sciforum Electronic Conference*

Bibliographie

Series (Vol. 4, p. 106).

- Martins, A.A., Mata, T.M., Costa, C.A.V. (2006). Education for sustainability: challenges and trends. *Clean Technol. Environ. Policy* 8, 31-37. <https://doi.org/10.1007/s10098-005-0026-3>
- Mcaloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2017). *From Ecodesign to Sustainable Product/Service-Systems: A journey through research contributions over recent decades*. 99-111. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48514-0>
- McCright, A. M., O'shea, B. W., Sweeder, R. D., Urquhart, G. R., & Zeleke, A. (2013). Promoting interdisciplinarity through climate change education. *Nature Climate Change*, 3(8), 713-716
- McMasters, J., Matsch, L. (1996). Desired attributes of an engineering graduate-An industry perspective. In *Advanced measurement and ground testing conference* (p. 2241).
- Meadows, D. H., Randers, J., & Meadows, D. L. (1972). *The Limits to Growth*. Yale University Press
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2013). Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles. Filière scientifique - Voie PCSI/PSI - Discipline Sciences Industrielles de l'Ingénieur
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2013). Programme pédagogique nationale DUT Genir mécanique et productique
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2015). Référentiels de compétences des mentions de licence
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2016). Référentiel Brevet de technicien supérieur Conception des produits industriels
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2017). Systèmes d'information et études statistiques- Les effectifs en cycle ingénieur en 2017-2018
- Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) (2018). Repères et références statistiques 2018 sur les enseignements, la formation et la recherche
- Ministère Education Nationale (2004). PRÉPARATION DE LA RENTRÉE 2004 DANS LES ÉCOLES, LES COLLÈGES ET LES LYCÉES. Bulletin Officiel numéro 6. (5 Février 2004)
- Ministère Education Nationale (2008). CYCLE DES APPROFONDISSEMENTS - PROGRAMME DU CE2, DU CM1 ET DU CM2. Bulletin Officiel hors série n°3. (19 Juin 2008)

Bibliographie

- Ministère Education Nationale (2011). Enseignement intégré de science et technologie. Bulletin Officiel n°26. (30 Juin 2011)
- Ministère Education Nationale (2013). Démarche globale de développement durable dans les écoles et les établissements scolaires (E3D) - Référentiel de mise en œuvre et de labellisation. Bulletin Officiel numéro 31. (29 Août 2013)
- Ministère Education Nationale (2020). Renforcement de l'éducation au développement durable. Agenda 2030. Bulletin Officiel numéro 36. (24 Septembre 2020)
- Ministère Education Nationale (2021). <https://www.education.gouv.fr/l-education-au-developpement-durable-7136>
- Mochizuki, Y., & Bryan, A. (2015). Climate change education in the context of education for sustainable development: Rationale and principles. *Journal of Education for Sustainable Development*, 9(1), 4-26.
- Molthan-Hill, P., Worsfold, N., Nagy, G. J., Leal Filho, W., & Mifsud, M. (2019). Climate change education for universities: A conceptual framework from an international study. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1092-1101.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812.
- MOOC. (2020). Ingénieurs Canada - l'ingénierie durable. <https://catalogue.edulib.org/fr/institutions/polymtl/>
- Morin, E. (1994). La complexité humaine, Flammarion, Paris.
- Morin, E. (2011). *La Voie: Pour l'avenir de l'humanité*. Fayard
- Mula, I., & Tilbury, D. (2011). *National journeys towards education for sustainable development, 2011: Reviewing national experiences from Chile, Indonesia, Kenya, the Netherlands, Oman—UNESCO Digital Library*. the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192183>
- Mulder, K.F., Segalas, J., Ferrer-Balas, D. (2012). How to educate engineers for/in sustainable development. *Int. J. Sustain. High Educ.* 13, 211-218. <https://doi.org/10.1108/14676371211242535>.
- Mulder, K. (2014). Strategic competencies, critically important for Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, 78, 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.098>
- Mulder, K.F. (2017). Strategic competences for concrete action towards sustainability: an oxymoron? Engineering education for a sustainable future. *Renew. Sustain. Energy Rev.*

Bibliographie

68, 1106-1111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.038>.

Musset, P. M. (2010). *L'éducation au développement durable*. 1-15.

Nazzal, D., Zabinski, J., Hugar, A., Reinhart, D., Karwowski, W., & Madani, K. (2015). Introduction of sustainability concepts into industrial engineering education: A modular approach. *Advances in Engineering Education*, 4(4), n4.

Neto, V. (2019). Eco-design and eco-efficiency competencies development in engineering and design students. *Education Sciences*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/educsci9020126>

NF X30-264. (2013). *Management environnemental - Aide à la mise en place d'une démarche d'éco-conception*

Nolan, C. (2012). *Shaping the education of tomorrow: 2012 report on the UN decade of education for sustainable development, abridged*. UNESCO.

Novak, J. D., Gowin, D. B., & Bob, G. D. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.

Nowotny, J., Dodson, J., Fiechter, S., Gür, T.M., Kennedy, B., Macyk, W., Bak, T., Sigmund, W., Yamawaki, M., Rahman, K.A. (2018). Towards global sustainability: education on environmentally clean energy technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 2541e2551. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.060>

Olsen, S. I., Fantke, P., Laurent, A., Birkved, M., Bey, N., & Hauschild, M. Z. (2018). Sustainability and LCA in Engineering Education - A Course Curriculum. *Procedia CIRP*, 69(May), 627-632. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.114>

Orange-Ravachol, D., & Doussot, S. (2013). Engager l'École dans l'EDD risque-t-il de la dédiscipliner?. *Penser l'éducation*, (Hors Série), 81-96.

Osborn, A. F. (1953). *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving*. New York, New York: Charles Scribner's Sons

Oversby, J. (2015). Teachers' learning about climate change education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 167, 23-27.

Perpignan, C., Baouch, Y., Robin, V., & Eynard, B. (2020). Engineering education perspective for sustainable development: A maturity assessment of cross-disciplinary and advanced technical skills in eco-design. *Procedia CIRP*, 90, 748-753. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.051>

Perpignan, C., Robin, V., & Eynard, B. (2018). *From Ecodesign To Dfs in Engineering Education*. (September), 1-6.

Perpignan, C., Robin, V., & Girard, P. (2017). *Vers une formation au développement durable*

Bibliographie

dès le secondaire.

- Perrenoud, P. (1999). Construire des compétences, est-ce tourner le dos aux savoirs?. v. 12, no 3, mars 1999, p. 14-17 *Pédagogie collégiale*.
- Petersen, G. B., Klingenberg, S., Mayer, R. E., & Makransky, G. (2020). The virtual field trip: Investigating how to optimize immersive virtual learning in climate change education. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2099-2115.
- Pfirman, S., O'Garra, T., Bachrach Simon, E., Brunacini, J., Reckien, D., Lee, J. J., & Lukasiewicz, E. (2021). "Stickier" learning through gameplay: An effective approach to climate change education. *Journal of Geoscience Education*, 69(2), 192-206.
- Pigosso, D. C. A., McAlloone, T. C., & Rozenfeld, H. (2015). Characterization of the State-of-the-art and Identification of Main Trends for Ecodesign Tools and Methods: Classifying Three Decades of Research and Implementation. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95(4), 405-427.
- Ploum, L., Blok, V., Lans, T., & Omta, O. (2018). Toward a Validated Competence Framework for Sustainable Entrepreneurship. *Organization and Environment*, 31(2), 113-132. <https://doi.org/10.1177/1086026617697039>
- Portuguez Castro, M., & Gomez Zermeno, M. G. (2020). Challenge based learning: Innovative pedagogy for sustainability through e-learning in higher education. *Sustainability*, 12(10), 4063.
- Postiaux, N., Bouillard, P., & Romainville, M. (2010). Référentiels de compétences à l'université Systems of reference for competences and management of training at university: roles, stakes and limits Referenciales de competencias y pilotaje de formación en la universidad : función, retos y límites Bezugssystem. *Recherche & formation*, (64), 15-30. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.185>
- Poumay, M., & Georges, F. (2017). *Chapitre 2. Des balises méthodologiques pour construire un référentiel de compétences et une grille de programme*. <https://doi.org/10.3917/dbu.pouma.2017.01.0039>
- Poumay, M., Tardif, J., & Georges, F. (2017). *Organiser la formation à partir des compétences un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur* (Pédagogies en développement). Louvain-la-Neuve (Belgique): De Boeck Supérieur.
- Prégent, R., Bernard, H., & Kozanitis, A. (2009). *Enseigner à l'université dans une approche-programme: guide à l'intention des nouveaux professeurs et chargés de cours*. Presses inter Polytechnique
- Prégent, R., Bernard, H., & Kozanitis, A. (2011). *Enseigner à l'université dans une approche-programme un défi à relever*. Montréal (Canada): Presses internationales Polytechniques

Bibliographie

- Prevost, P., & Jouffray, A. (2013). Le développement durable dans les formations d'ingénieur en France: comment se situer entre formation professionnelle et «éducation à...». L'exemple de la formation d'ingénieur agronome. *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE*, (33).
- Puteh, M., Adnan, M., Ibrahim, M. H., Noh, N. M., & Che'Ahmad, C. N. (2014). An analysis of comfortable teaching and learning environment: Community response to climate change in school. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 285-290.
- Quelhas, O. L. G., Lima, G. B. A., Ludolf, N. V. E., Meiriño, M. J., Abreu, C., Anholon, R., ... Rodrigues, L. S. G. (2019). Engineering education and the development of competencies for sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2018-0125>
- Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W. Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Thurston, D. (2010). Integrated sustainable life cycle design: A Review. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 132(9), 0910041-09100415. <https://doi.org/10.1115/1.4002308>
- Ramirez-Mendoza, R. A., Morales-Menendez, R., Melchor-Martinez, E. M., Iqbal, H. M., Parra-Arroyo, L., Vargas-Martínez, A., & Parra-Saldivar, R. (2020). Incorporating the sustainable development goals in engineering education. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(3), 739-745.
- Rampasso, I., Anholon, R., Silva, D., Ordonez, R. C., Quelhas, O., Leal Filho, W., & Santa-Eulalia, L. (2018). An analysis of the difficulties associated to sustainability insertion in engineering education. *Journal of Cleaner Production*, 193, 363-371.
- Ratcheva, V., Leopold, T. A., & Zahidi, S. (2020). Jobs of tomorrow: mapping opportunity in the new economy. In *World Economic Forum, Geneva, Switzerland*.
- Rempfler, A., & Uphues, R. (2012). System Competence in Geography Education. Development of competence models, diagnosing pupils' achievement. *European Journal of Geography*, 3(1), 6-22.
- Renouard, C. Beau, R., Goupil, C., Koenig, C. (dir.), 2020, Manuel de la grande transition, Paris, LLL.. 2020.
- Ricaurte, M., & Vilorio, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.001>
- Ricoeur, P. (1995). *Le juste* (Vol. 1). Paris, France Esprit.
- Robin, M. (2019). L'effet Greta. *Esprit*, (10), 19-22.
- Robinson, K. (2006). *L'école tue la créativité*. Ted 2006.

Bibliographie

https://www.ted.com/talks/sir_ken_robinson_do_schools_kill_creativity/transcript?language=fr

Roby, C. (2017). *Évolution du rôle social à la responsabilité sociétale des ingénieurs Évolution du rôle social à la responsabilité sociétale des ingénieurs*. 33(0).

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>

Rompelman, O. (2000). Assessment of student learning: Evolution of objectives in engineering education and the consequences for assessment. *European Journal of Engineering Education*, 25(4), 339-350. <https://doi.org/10.1080/03043790050200386>

Rose, G., Ryan, K., & Desha, C. (2015). Implementing a holistic process for embedding sustainability: A case study in first year engineering, Monash University, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 106, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.066>

Rosén, A., Edström, K., Gumaelius, L., Högfeldt, A.-K., Gröm, A., Lyng, R., Malmqvist, J. (2019). Mapping the CDIO Syllabus to the UNESCO key competencies - manuscript for CDIO 2019 - v9. *Proceedings of the 15th International CDIO Conference, Aarhus University, 0(Crawley 2001)*, 67-84. Consulté à l'adresse www.tcpdf.org

Rubio, R. M., Uribe, D., Moreno-Romero, A., & Yáñez, S. (2019). Embedding sustainability competences into engineering education. The case of informatics engineering and industrial engineering degree programs at Spanish universities. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205832>

Rydhagen, B., Dackman, C. (2011). Integration of sustainable development in sanitary engineering education in Sweden. *Eur. J. Eng. Educ.* 36, 87-95. <https://doi.org/10.1080/03043797.2010.539678>

Sarabhai, K. V. (2015). ESD for Sustainable Development Goals (SDGs). *Journal of Education for Sustainable Development*, 9(2), 121-123. <https://doi.org/10.1177/0973408215600601>

Schäfer, M., & Löwer, M. (2021). Ecodesign—A Review of Reviews. *Sustainability*, 13(1), 315.

Scherak, L., & Rieckmann, M. (2020). Developing ESD competences in higher education institutions—Staff training at the University of Vechta. *Sustainability (Switzerland)*, 12(24), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su122410336>

Schneider, J., Leydens, J.A., Lucena, J. (2008). Where is “Community”? Engineering education and sustainable community development. *Eur. J. Eng. Educ.* 33, 307e319. <https://doi.org/10.1080/03043790802088640>.

Bibliographie

- Sharma, B., Steward, B., Ong, S.K., Miguez, F.E. (2017). Evaluation of teaching approach and student learning in a multidisciplinary sustainable engineering course. *J. Clean. Prod.* 142, 4032-4040. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.046>
- Sheldrick, L., & Rahimifard, S. (2013). Evolution in ecodesign and sustainable design methodologies. In *Re-engineering manufacturing for sustainability* (pp. 35-40). Springer, Singapore.
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Roychoudhury, A., & Hirsch, A. (2012). Conceptualizing climate change in the context of a climate system: Implications for climate and environmental education. *Environmental Education Research*, 18(3), 323-352.
- Shields, D., Verga, F., Andrea Blengini, G. (2014). Incorporating sustainability in engineering education. *Int. J. Sustain. High Educ.* 15, 390e403. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2013-0014>.
- Seatter, C. S., & Ceulemans, K. (2017). Teaching Sustainability in Higher Education: Pedagogical Styles That Make a Difference. *Canadian Journal of Higher Education*, 47(2), 47–70.
- Segalàs, J., Ferrer-Balas, D., Svanström, M., Lundqvist, U., & Mulder, K. F. (2009). What has to be learnt for sustainability? A comparison of bachelor engineering education competences at three European universities. *Sustainability Science*, 4(1), 17-27. <https://doi.org/10.1007/s11625-009-0068-2>
- Segalàs Coral, J. (2009). *Engineering Education for a sustainable future*.
- Segalàs Coral, J., & Sánchez Carracedo, F. (2020). Educating for sustainable development goals in spanish engineering degrees. In *SEFI 2020: 48th Annual Conference "Engaging engineering education"*, proceedings (pp. 485-497). European Society for En.
- Segalàs, J., Ferrer-Balas, D., & Mulder, K. F. (2009). Introducing sustainable development in engineering education: Competences, pedagogy and curriculum. *SEFI 37th Annual Conference 2009*, (July).
- Segalàs, J., Mulder, K. F., & Ferrer-Balas, D. (2012). What do EESD « experts » think sustainability is? Which pedagogy is suitable to learn it?: Results from interviews and Cmaps analysis gathered at EESD 2008. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), 293-304. <https://doi.org/10.1108/14676371211242599>
- Serres, M. (1991). *Le tiers-instruit*.
- Servigne, P., & Stevens, R. (2015). *Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes: Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*. Média Diffusion.
- Sgard, A., & Bernhardt, H.T. (2013). « Le « savoir des questions » : comment problématiser

Bibliographie

avec les élèves ? Un exemple d'élément déclencheur : les éoliennes dans le paysage genevois ».

Siegner, A. B. (2018). Experiential climate change education: challenges of conducting mixed-methods, interdisciplinary research in San Juan Islands, WA and Oakland, CA. *Energy research & social science*, 45, 374-384.

Silvius, A. J. G., & Schipper, R. P. J. (2014). Sustainability in Project Management Competencies: Analyzing the Competence Gap of Project Managers. *Journal of Human Resource and Sustainability Studies*, 02(02), 40-58. <https://doi.org/10.4236/jhrss.2014.22005>

Sivapalan, S., Clifford, M.J., Speight, S. (2017). Engineering education for sustainable development: using online learning to support the new paradigms. *Australas. J. Eng. Educ.* 4952, 1e13. <https://doi.org/10.1080/22054952.2017.1307592>

Skinner, B. . (1967). The Technology of teaching. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 162(989), 427-443. <https://doi.org/10.1038/214960c0>

Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard Business Review*, 85(11), 68. Consulté à l'adresse http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-11827-7%5Cnhttp://link.springer.com.proxy.timbo.org.uy:443/chapter/10.1007/978-3-319-11827-7_15%0Ahttps://doi.org/10.1080/02692171.2019.1524043%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.leaqua.2011.09.009%0Ahttp://dx.doi.org

Sokol, A., Gozdek, A., Figurska, I., & Blaskova, M. (2015). Organizational climate of higher education institutions and its implications for the development of creativity. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 182, 279-288.

Sola, E., Hoekstra, R., Fiore, S., & McCauley, P. (2017). An Investigation of the State of Creativity and Critical Thinking in Engineering Undergraduates. *Creative Education*, 08(09), 1495-1522. <https://doi.org/10.4236/ce.2017.89105>

Spohrer, J., Gardner, P. (2015). <https://tsummit.org/t/>

Stables, K. (2009). Educating for environmental sustainability and educating for creativity: Actively compatible or missed opportunities? *International Journal of Technology and Design Education*, 19(2), 199-219. <https://doi.org/10.1007/s10798-008-9077-1>

Staniškis, J. K., & Katiliute, E. (2016). Complex evaluation of sustainability in engineering education: Case & analysis. *Journal of Cleaner Production*, 120, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.086>

Sterling, S. (2003). *Whole systems thinking as a basis for paradigm change in education: explorations in the context of sustainability.*

Bibliographie

- Sterling, S. (2004). Higher Education and the Challenge of Sustainability. *Higher Education and the Challenge of Sustainability*, (May), 0-21. <https://doi.org/10.1007/0-306-48515-x>
- Sterling, S. (2016). A commentary on education and Sustainable Development Goals. *Journal of Education for Sustainable Development*, 10(2), 208-213.
- Stevenson, R. B., Nicholls, J., & Whitehouse, H. (2017). What is climate change education?. *Curriculum Perspectives*, 37(1), 67-71.
- Sung, J. (2015). Climate change education and education for sustainable development in the Republic of Korea: A status report. *Journal of education for sustainable development*, 9(1), 78-89.
- Sustainable Development Goals. (2015). United Nations Sustainable Development.
- Szczepankiewicz, E. I., Fazlagić, J., & Loopesko, W. (2021). A Conceptual Model for Developing Climate Education in Sustainability Management Education System. *Sustainability*, 13(3), 1241.
- Tardif, J., Fortier, G., & Préfontaine, C. (2006). L'évaluation des compétences : documenter le parcours de développement. In *Chenelière/Didactique*.
- Tejedor, G., Segalàs, J., & Rosas-Casals, M. (2018). Transdisciplinarity in higher education for sustainability: How discourses are approached in engineering education. *Journal of Cleaner Production*, 175, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.085>
- Tezcan-Unal, B., Winston, K., & Qualter, A. (2018). Learning-oriented quality assurance in higher education institutions. *Quality in Higher Education*, 24(3), 221-237.
- Tolppanen, S., & Aksela, M. (2018). Identifying and addressing students' questions on climate change. *The Journal of Environmental Education*, 49(5), 375-389.
- ULSF. (1990). Talloires Declaration. http://www.ulsf.org/programs_talloires_td.html
- United Nations Climate Change (UNCC). (2015). L'Accord de Paris.
- UNESCO. (2010). Engineering: issues, challenges and opportunities for development
- UNESCO. (2012a). *Education for Sustainable Development*.
- UNESCO. (2012b). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. UNESCO. United Nations. (2012). *The Future We Want*.
- UNESCO. (2015). Science , technologie et société du point de vue de l'éthique : une contribution au programme pour l'après -2015 Rapport de la COMEST.

Bibliographie

- UNESCO. (2017). L'éducation en vue des objectifs de développement durable Objectifs d'apprentissage. Consulté à l'adresse <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247507>
- UNESCO. (2019). UNESCO Associated Schools Network: Guide for Members
- UNESCO. (2020). *Global Education Monitoring Report* (third edition; p. 522).
- UNESCO. (2021). Engineering for Sustainable Development. <https://doi.org/10.18356/9789214030089>
- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. *United Nations: New York, NY, USA*.
- Vallet, F. (2012). *Caractérisation des bonnes pratiques en éco-conception pour la formation des ingénieurs-concepteurs: synthèse des dimensions, méthodes, activités et outils*. Thèse de l'Université de Technologie de Compiègne
- Vallet, F., Eynard, B., & Millet, D. (2014). Proposal of an eco-design framework based on a design education perspective. *Procedia CIRP*, 15, 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.011>
- Vérin, H. (1998). « Ingénieur » : « L'identité de l'ingénieur " : quelques repères historiques ». *Recherche & formation*, 29(1), 11-20.
- Viere, T., Amor, B., Berger, N., Fanous, R. D., Arduin, R. H., Keller, R., Sonnemann, G. (2020). Teaching life cycle assessment in higher education. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 511-527. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01844-3>
- VORREUX, C., BERTHAULT, M., & RENAUDIN, A. (2019). Mobiliser l'enseignement supérieur pour le climat: former les étudiants pour décarboner la société. *Paris, France*, 1, 102.
- Walker, E. A., Pettit, J. M., & Everitt, W. L. (1968). Goals of Engineering Education; Final Report of the Goals Committee. *Journal of Engineering Education*, 58, 367-446.
- Wang, Y., Shi, H., Sun, M., Huisingh, D., Hansson, L., & Wang, R. (2013). Moving towards an ecologically sound society? Starting from green universities and environmental higher education. *Journal of Cleaner Production*, 61, 1-5.
- Weber, N. R., Strobel, J., Dyehouse, M. A., Harris, C., David, R., Fang, J., & Hua, I. (2014). First-year students' environmental awareness and understanding of environmental sustainability through a life cycle assessment module. *Journal of Engineering Education*, 103(1), 154-181. <https://doi.org/10.1002/jee.20032>
- World Economic Forum, (2020). Schools of the future: Defining new models of education for the fourth industrial revolution. *World Econ. Forum*, n°January, pp. 1-33. www.weforum.org.

Bibliographie

- Wiek, A., & Kay, B. (2015). Learning while transforming: Solution-oriented learning for urban sustainability in Phoenix, Arizona. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 16, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.07.001>
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203-218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>
- Wiek, A., Mj, B., Rw, F., Cohen, M., Forrest, N., Kuzdas, C., Keeler, L. W. (2016). Operationalizing Competencies in Higher Education for Sustainable Development. *Routledge Book of Higher Education for Sustainable Development*, (October 2015), 241-260.
- Winter, J., & Cotton, D. (2012). Making the hidden curriculum visible: Sustainability literacy in higher education. *Environmental Education Research*, 18(6), 783-796. <https://doi.org/10.1080/13504622.2012.670207>
- Wu, J. S., & Lee, J. J. (2015). Climate change games as tools for education and engagement. *Nature Climate Change*, 5(5), 413-418.
- XP X30-027 (2016). Développement durable - Responsabilité sociétale - Rendre crédible une démarche de responsabilité sociétale basée sur l'ISO 26000
- XP X30-029 (2016). Responsabilité sociétale - Analyse de matérialité - Priorisation des domaines d'action et des parties prenantes selon les lignes directrices de la norme ISO 26000
- XP X30-036 (2018). Développement durable - Responsabilité sociétale - Guide sur l'intégration de la Responsabilité Sociétale basée sur l'ISO 26000 dans un système de management
- Yuan, X., & Zuo, J. (2013). A critical assessment of the Higher Education For Sustainable Development from students' perspectives – a Chinese study. *Journal of Cleaner Production*, 48, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.041>
- Zhong, S., Cheng, Q., Zhang, S., Huang, C., & Wang, Z. (2021). An impact assessment of disaster education on children's flood risk perceptions in China: Policy implications for adaptation to climate extremes. *Science of the total environment*, 757, 143761.

Notice bibliographique personnelle

Ces travaux de recherche ont donné lieu aux publications suivantes :

Revue internationale

Perpignan, C., Robin, V., Baouch, Y., & Eynard, B. 2020. "Identification of contribution and lacks of the ecodesign education to the achievement of sustainability issues by analyzing the French education system". *Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, vol. 34, n° 1, pp. 4-16. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890060419000465>

Conférences internationales

Perpignan C., Baouch Y., Robin V., Eynard B. 2021. "A competency-based model to integrate sustainability in curricula in French universities and engineering schools". *World Engineering Education Forum International Federation of Engineering Education Societies - The Global Engineering Deans Council*, Madrid, Spain.

Perpignan C., Baouch Y., Robin V., Eynard B. 2021. "Crossing technical and non-technical skills: French case study of ecodesign in engineering education". *10th International Conference on Engineering Education for Sustainable Development – EESD 2020/2021*, Cork, Ireland.

Perpignan C., Baouch Y., Robin V., Eynard B. 2020. "Education perspective for sustainable engineering: a tool for assessment of cross-disciplinary and advanced technical skills". *27th CIRP conference on Life Cycle Engineering - CIRP LCE 2020*, Grenoble, France.

Grimal L., Marty P., Perez S., Troussier N., **Perpignan C.**, Reyes T. 2020. "Case study: located pedagogical situations to improve global sustainable skills in engineering education and universities". *27th CIRP conference on Life Cycle Engineering - CIRP LCE 2020*, Grenoble, France.

Perpignan C., Robin V., Baouch Y., Eynard B. 2019. "Ecodesign from high school to bachelor level: a French case study". *International Conference on Engineering Design – ICED19*. Delft, The Netherlands. DOI: <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.333>

Perpignan C., Robin V., Eynard E. 2018. "From Ecodesign to DFS in engineering education". *20th International Conference on Engineering & Product Design Education – E&PDE 2018*, London, United Kingdom.

Perpignan C., Robin V., Girard P. 2017. "French education system organization from secondary school to university to prepare future engineers to eco-design". *6th International Conference on Research into Design - ICORD 2017*, Guwahati, India.

Robin V., Pache A., **Perpignan C.**, Dessagne D. 2017. "Serious games to promote Education for Sustainable Development, a French and Swiss experimentation". *8th IEEE Global Engineering Education Conference - EDUCON 2017*, Athens, Greece.

Colloques nationaux

Perpignan C., Robin V., Baouch Y., Eynard B. 2019. « Etude préliminaire de la construction des connaissances et compétences en éco-conception de Bac-3 à Bac+3 ». *16^{ième} Colloque national S.mart / AIP-PRIMECA – « L'industrie du futur, une révolution pour l'humain*», Les Karellis, France.

Perpignan C., Robin V., Girard P. 2017. « Synthèse sur l'insertion du concept de développement durable et de l'écoconception dans le système éducatif français ». *15^{ième} Colloque national AIP-PRIMECA – « Concevoir et produire dans les industries du futur »*, La Plagne, France.

ANNEXES

Annexe 1. Acquis de formation pour les programmes de licence en ingénierie (ENAE)

ACQUIS DE FORMATION POUR LES LICENCES EN INGÉNIERIE (GRADE DE BACHELOR)	
1- CONNAISSANCES ET COMPRÉHENSION	1.1 connaissance et compréhension des mathématiques et autres sciences de base indispensables à leur spécialisation d'ingénierie, à un niveau suffisant pour atteindre les autres acquis de formation
	1.2 connaissance et compréhension des disciplines d'ingénierie indispensables à leur spécialisation, à un niveau suffisant pour atteindre les autres acquis de formation, incluant une sensibilisation aux dernières avancées de ces disciplines
	1.3 conscience du contexte pluridisciplinaire plus large de l'ingénierie
2- ANALYSE TECHNIQUE	2.1 aptitude à analyser des produits, processus et systèmes techniques complexes relevant de leur domaine d'étude ; à sélectionner et appliquer les méthodes analytiques, de calcul et expérimentales existantes appropriées ; à interpréter correctement les résultats de telles analyses;
	2.2 aptitude à identifier, formuler et résoudre des problèmes techniques relevant de leur domaine d'étude ; à sélectionner et appliquer les méthodes analytiques, de calcul et expérimentales existantes appropriées ; à reconnaître l'importance des contraintes non techniques (sociétales, d'hygiène et de sécurité, environnementales, économiques et industrielles)
3- CONCEPTION TECHNIQUE	3.1 aptitude à développer et concevoir des produits (appareils, objets, etc.), processus et systèmes complexes relevant de leur domaine d'étude, en respectant des contraintes imposées et en tenant compte des aspects non techniques (sociétaux, d'hygiène et de sécurité, environnementaux, économiques et industriels) ; à sélectionner et appliquer les méthodologies de conception appropriées
	3.2 capacité à concevoir en faisant appel en premier lieu à leur domaine de spécialisation et ses développements récents
4- ÉTUDES ET RECHERCHES	4.1 aptitude à mener des recherches bibliographiques, à consulter et utiliser avec un œil critique des bases de données scientifiques et d'autres sources d'informations appropriées, à réaliser des simulations et analyses afin d'approfondir les études et la recherche sur des sujets techniques dans leur domaine de spécialisation

	4.2 aptitude à consulter et appliquer les codes de bonne pratique et les réglementations de sécurité de leur domaine d'étude
	4.3 compétences de laboratoire/d'atelier et aptitude à concevoir et mener des études expérimentales, à interpréter les données et à tirer des conclusions dans leur domaine d'étude
5- PRATIQUE DE L'INGÉNIERIE	5.1 compréhension approfondie des techniques et méthodes d'analyse, de conception et de recherche applicables, et de leurs limites
	5.2 compétences pratiques dans la résolution de problèmes complexes, la réalisation de conceptions techniques complexes et la conduite de recherches dans leur domaine d'étude
	5.3 compréhension des matériaux, équipements et outils applicables, des technologies et processus techniques, y compris leurs limites, dans leur domaine d'étude
	5.4 capacité à appliquer les normes d'ingénierie dans leur domaine d'étude
	5.5 sensibilisation aux aspects non techniques (sociétaux, d'hygiène et de sécurité, environnementaux, économiques et industriels) de la pratique de l'ingénierie
	5.6 conscience des problèmes économiques, organisationnels et de gestion (gestion de projet, gestion des risques et du changement...) dans le milieu industriel et des entreprises
6- PRISE DE DÉCISION	6.1 aptitude à recueillir et interpréter des données pertinentes et à appréhender la complexité dans leur domaine d'étude, afin d'éclairer les décisions nécessitant une réflexion sur des problèmes sociaux et éthiques importants
	6.2 aptitude à gérer des activités ou projets techniques ou professionnels complexes dans leur domaine d'étude, en assumant la responsabilité de leurs décisions
7- COMMUNICATION ET TRAVAIL EN ÉQUIPE	7.1 aptitude à communiquer des informations, idées, problèmes et solutions de manière efficace avec la communauté des ingénieurs et la société en général
	7.2 aptitude à travailler de manière efficace dans un contexte national et international, en tant qu'individu et que membre d'une équipe, et à collaborer de manière efficace avec des ingénieurs et non ingénieurs
8- APPRENTISSAGE TOUT AU LONG DE LA VIE	8.1 aptitude à reconnaître la nécessité d'un apprentissage indépendant tout au long de la vie et de s'y engager
	8.2 aptitude à suivre les évolutions scientifiques et technologiques

Annexe 2. Acquis de formation dans le référentiel de la CTI

L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES ET LA MAITRISE DE LEUR MISE EN ŒUVRE	La connaissance et la compréhension d'un large champ de sciences fondamentales et la capacité d'analyse et de synthèse qui leur est associée
	l'aptitude à mobiliser les ressources d'un (ou de plusieurs) champ scientifique et technique spécifique
	la maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur : identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis, l'utilisation des approches numériques et des outils informatiques, l'analyse et la conception de systèmes, la pratique du travail collaboratif et à distance
	la capacité à concevoir, concrétiser, tester et valider des solutions, des méthodes, produits, systèmes et services innovants
	la capacité à effectuer des activités de recherche, fondamentale ou appliquée, à mettre en place des dispositifs expérimentaux
	la capacité à trouver l'information pertinente, à l'évaluer et à l'exploiter : «compétence informationnelle»
L'ADAPTATION AUX EXIGENCES PROPRES DE L'ENTREPRISE ET DE LA SOCIÉTÉ	la capacité à prendre en compte les enjeux de l'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique
	la capacité à identifier les responsabilités éthiques et professionnelles, à prendre en compte les enjeux des relations au travail, de sécurité et de santé au travail et de la diversité
	la capacité à prendre en compte les enjeux environnementaux, notamment par application des principes du développement durable
	la capacité à prendre en compte les enjeux et les besoins de la société
LA PRISE EN COMPTE DE LA DIMENSION ORGANISATIONNELLE, PERSONNELLE ET CULTURELLE	la capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maîtrise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non-spécialistes

Annexes

	la capacité à entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux
	la capacité à travailler en contexte international et multiculturel : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux
	la capacité à se connaître, à s'autoévaluer, à gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), à opérer ses choix professionnels

Questionnaire sur les formations Post-Bac en ingénierie durable

L'objectif de ce questionnaire est de procéder à un recueil d'informations sur les formations dispensées dans les filières techniques du supérieur relativement à la notion de durabilité et plus précisément sur la question de l'écoconception.

Je vous remercie par avance pour le temps que vous y consacrerez.

Catherine Perpignan - PhD Student UTC catherine.perpignan@utc.fr

*Obligatoire

1. Quel est le nom de votre université ou école ? Au sein de quelle formation intervenez-vous ? *

Réponses :

IUT de Bordeaux

Université Grenoble Alpes

Université de Bordeaux / IUT de Bordeaux / Dpt Science et Génie des Matériaux

Université de Franche-comté

IUT de Dijon

INSA Toulouse

UFC

Univ. Grenoble Alpes, IUT 1 Mécanique et Productique

UTBM

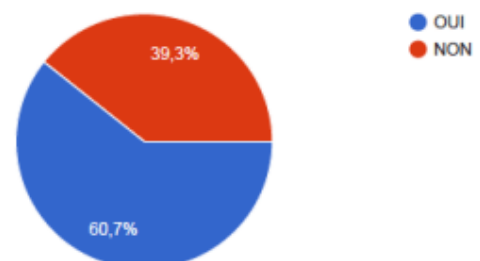
2. Au sein de votre parcours de formation des problématiques générales de durabilité sont-elles traitées ? *

Une seule réponse possible.

OUI *Passer à la question 4*

NON *Passer à la question 12*

28 réponses



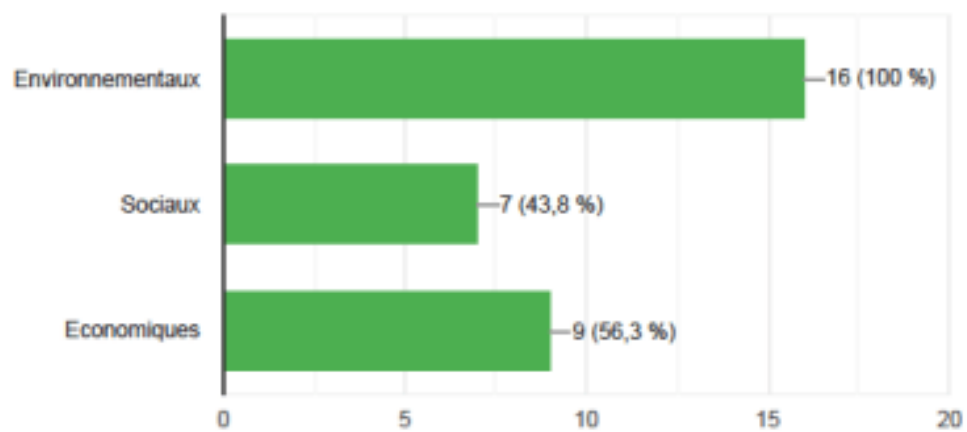
Annexes

3. Si oui, ces problématiques relèvent des aspects (plusieurs réponses possibles) :

Plusieurs réponses possibles.

- Environnementaux
- Sociaux
- Economiques

16 réponses



Formation générale au développement durable dans les formations techniques : Recueil d'informations sur l'intégration des concepts généraux liés au développement durable dans les offres de formations.

4. Si oui à la question 2, quels thèmes sont abordés ? *

Réponses :

- Eco-conception
- Environnementaux, beaucoup. Sociaux et Économiques pour décrire les interaction systémiques
- Développement durable au sens large, énergie, impact carbone, ACV, éco conception, fin de vie des matériaux, développement durable en entreprise
- optimisation énergétique, choix des matériaux, réglementation
- impact environnemental, cycle de vie du produit
- ACV, Ingénierie et Enjeux Ecologiques, éco-conception
- Management environnemental, Eco-conception (cycle de vie produit, impacts environnementaux, etc.), Ecologie industrielle
- Eco conception, ACV, recyclabilité, recyclage des matériaux, ...
- des cours très culture générale sur le DD, ACV, écoconception, normes et réglementations, écologie industrielle, RSE
- éco conception, cycle de vie, impacts de la fabrication et des matériaux...
- Analyse de Cycle de Vie, réglementation européenne, conception pour le recyclage, pour la maintenance et la pérennité du produit (déprogrammation de l'obsolescence des produits), allègement de poids dans le transport, emploi des énergies propres dans la mobilité (pile à combustible, solaire, éolien), recyclage, éco-innovation, chiffrage des solutions d'éco-conception.
- Eco conception
- Énergie
- Traitement de l'eau, des déchets métallurgiques et écoconception
- Développement durable, éco conception
- Développement durable, éco-conception
- Eco-conception de produits industriels

5. A quel(s) semestre(s) ou en quelle(s) année(s) est proposée cette formation et quel volume horaire y est consacré ? *

Réponses :

- 4^è semestre
- en L2, M1 et M2
- 1, 3 et 4
- Master 1 environ 15 heures dans le cours de matériaux
- licence professionnelle 4h TP sur SolidWorks SustainabilityXpress
- S1 (3h) ; S5 (30h) ; S6 (40h) ; S8 (40h)

- 10 heures par groupes de License Pro Alternant, premier semestre.
- semestre de printemps, 1UV globale proposée aux étudiants de dernière année d'études (avant le stage de fin d'études)
- à tous les semstres
- Environ 12h en 1ere année et 12h en 2eme année
- 2 x 77 heures (THE) en Automne et 80 heures (THE) au Printemps + des projets de laboratoire de 80 heures. Enseignement obligatoire dans la filière InECO (Innovation et Eco-conception), enseignement dispensé dès l'entrée en filière en BAC + 4 en cursus Ingénieur (les 2 derniers semestres avant le stage PFE).
- chapitre en première année sur 2/3 heures de formation
- Durant toute la formation
- Licence pro et master 1^{ère} année
- 2eme semestre sur 5
- 1^{er} semestre de 1^{ère} année
- Master 1, semestre 1

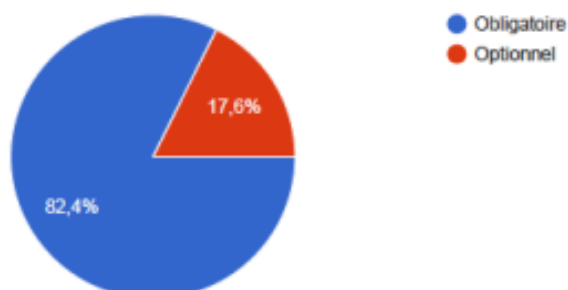
6. Est-ce obligatoire ou optionnel ? *

Une seule réponse possible.

Obligatoire

Optionnel

17 réponses



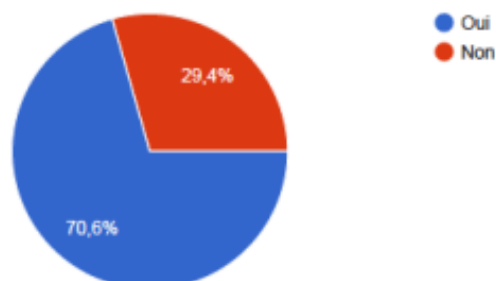
7. Est-ce que des crédits ECTS y sont affectés ?

Une seule réponse possible.

Oui

Non

17 réponses



8. Quel(s) type(s) d'intervention est proposé(s) ? (plusieurs réponses possibles) *

Plusieurs réponses possibles.

CM

TD

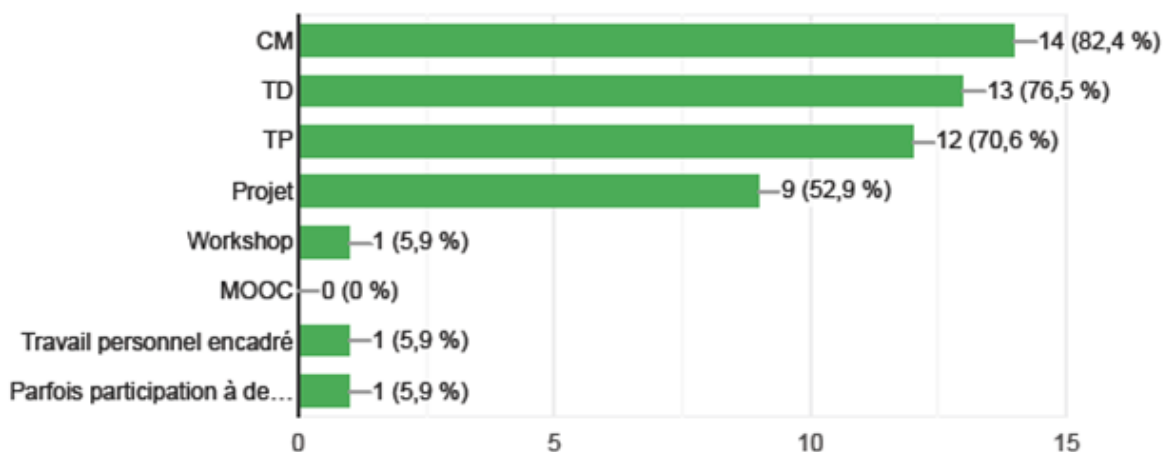
TP

Projet

Workshop

MOOC

Autre : _____



9. Qui sont les intervenants ? *

Plusieurs réponses possibles.

Enseignant

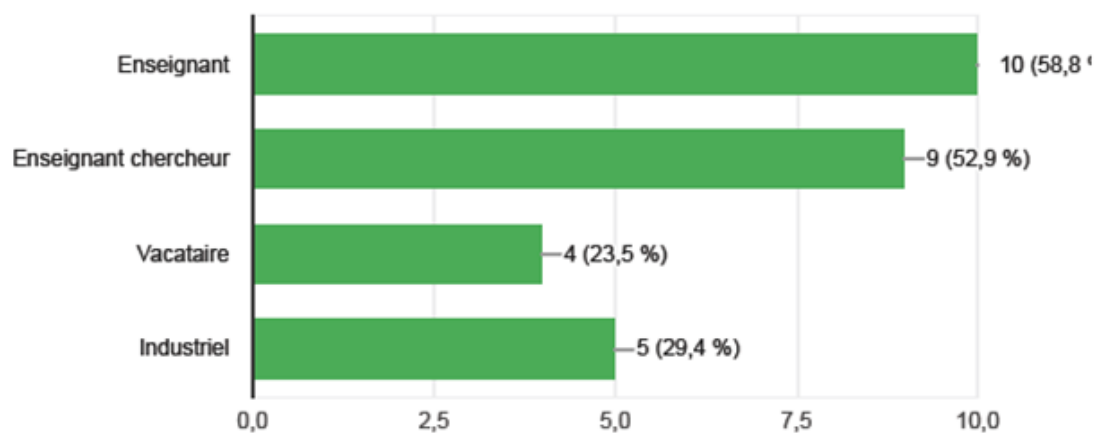
Enseignant chercheur

Vacataire

Industriel

Autre : _____

17 réponses



10. Quel est leur champ disciplinaire ou leur champ d'expertise ? *

Réponses :

- Conception
- Technologie, aménagement, ...
- Ecoconception, Recyclage, ACV, ...
- Sciences des matériaux, énergétique
- conception – calculs
- éco-conception, QSE
- Eco-conception & Ecologie industrielle & Conception mécaniques, conception intégrée
- matériaux, maitrises de l'énergie et du développement durable, ACV
- Génie industriel, aménagement du territoire, philosophie, épistémologie, gestion...
- Mécanique et génie mécanique
- Matériaux et éco-conception pour les enseignants-chercheurs, énergie et conception mécanique pour les vacataires et industriels.
- Enseignant de Sciences Industrielles
- Sciences de l'ingénieur
- SII pour moi, spécialiste environnement à l'UIMM pour l'enseignante vacataire
- Enseignants de sciences industrielles
- Conception de système. Culture des matériaux. Marketing
- Mécanique des matériaux

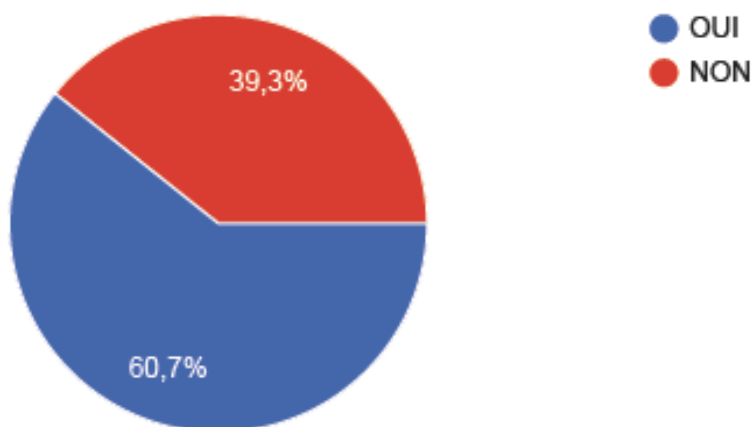
Formation à l'écoconception dans les filières techniques Post-Bac

11. Au cours de votre offre de formation le thème de l'écoconception est-il traité ? (écoconception dans le sens de la définition donnée par l'ISO 14062 à savoir : « L'intégration systématique des aspects environnementaux dès la conception et le développement de produits avec pour objectif la réduction des impacts environnementaux négatifs tout au long de leur cycle de vie ») *

Une seule réponse possible.

- OUI *Passer à la question 13*
- NON *Passer à la question 27*

28 réponses



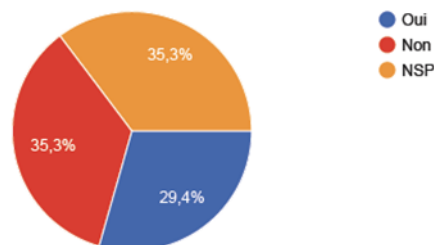
Formation à l'écoconception dans les filières techniques Post-Bac suite : L'objectif de cette section est de questionner l'enseignement de l'écoconception avant un choix de spécialisation fort des étudiants en fin d'école d'ingénieur ou en Master.

12. Cette définition de l'écoconception selon l'ISO est-elle à votre avis suffisante à l'heure actuelle ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non
- NSP

17 réponses



13. Si non, quels éléments complémentaires proposeriez-vous d'ajouter ?

Réponses :

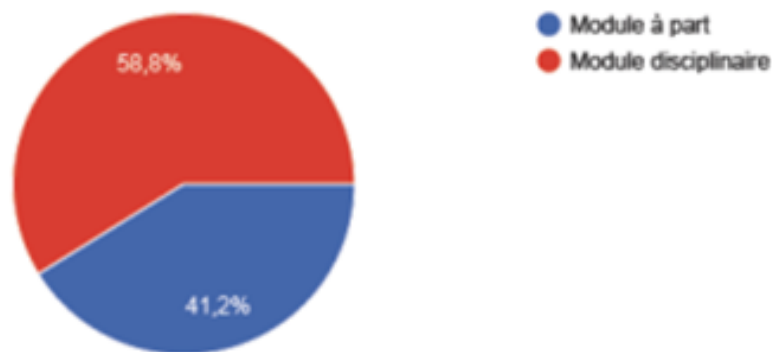
- La nécessaire adaptation aux limites planétaires
- La notion de répondre au « juste » besoin du futur utilisateur du système doit apparaître. Les liens avec les aspects économiques / marketing également puisqu'un produit écoconçu mais non vendu est infiniment impactant !
- Ce n'est pas au niveau de la définition, mais plutôt la pratique, de manière proactive qui me semble le plus difficile à enseigner : l'intégration des notions de CV et d'analyse d'impacts environnementaux au cœur des métiers, avec une coordination plus transversale, amenant à viser des objectifs clairs dans les cahiers des charges des produits et services en cours de conception. L'évolution des métiers et des enseignements...
- innovation frugale, nouveaux modèles industriels...
- L'aspect économique est une dimension qu'il faut intégrer dans l'écoconception pour que les solutions qui en résultent soient viables.
- Une charte éthique, visant à ne pas concevoir de nouvelle dépense énergétique. Exemple, la trottinette électrique...

14. Dans votre parcours de formation l'écoconception est-elle intégrée à un module disciplinaire ou constitue-t-elle un module à part ? *

Une seule réponse possible.

- Module à part
- Module disciplinaire

17 réponses



15. Si c'est inclus dans un module disciplinaire, lequel ?

Réponses :

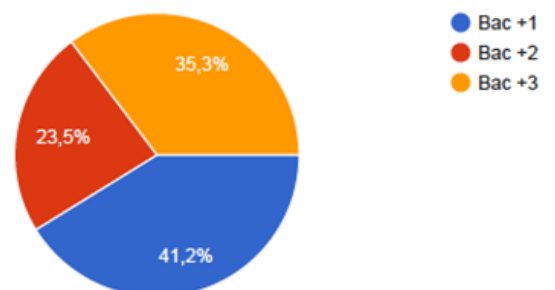
- Conception
- UE 4 Conception : dimensionnement , modélisation , spécification
- Conduite de projet, management de l'entreprise, Conception intégrée
- les deux suivant les formations (parfois en conception, industrialisation)
- Industrialisation de produits et construction mécanique
- Ingénierie Système et EcoConception
- Environnement et sécurité
- Sciences industrielles - mécaniques
- Etude des système pluri-technologiques
- Méthodes de conception

16. A partir de quelle année de formation l'introduisez-vous ? *

Une seule réponse possible.

17 réponses

- Bac +1 *Passer à la question 18*
- Bac +2 *Passer à la question 20*
- Bac +3 *Passer à la question 22*

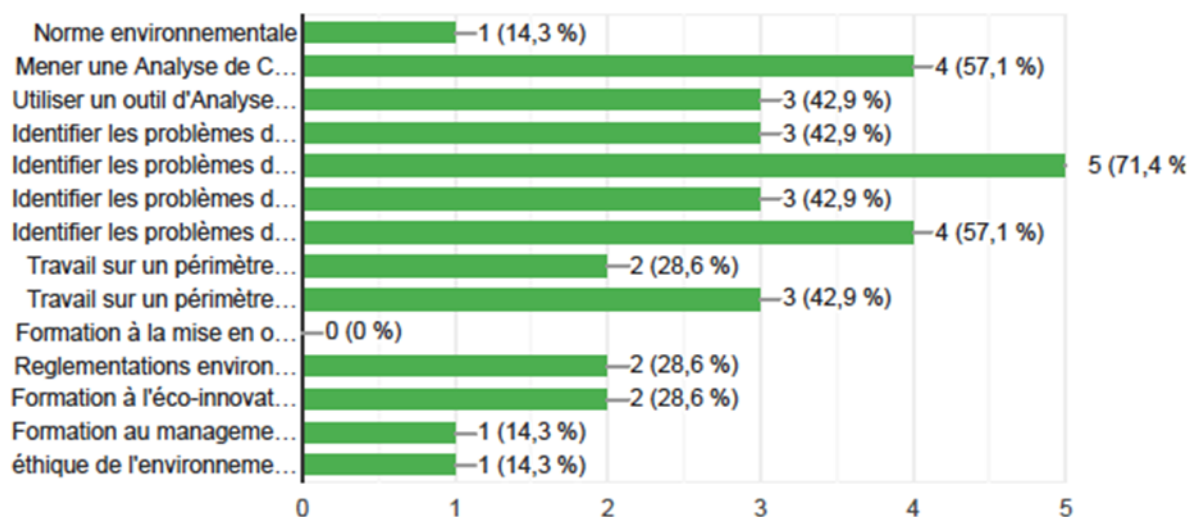


Objectifs de connaissance BAC+1

17. Quels sont les objectifs visés

Plusieurs réponses possibles.

- Norme environnementale
 - Mener une Analyse de Cycle de Vie
 - Utiliser un outil d'Analyse de Cycle de Vie
 - Identifier les problèmes de durabilité liés au process
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux choix de matériaux
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux ressources énergétiques
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux usages des produits
 - Travail sur un périmètre produit
 - Travail sur un périmètre plus large
 - Formation à la mise en oeuvre d'une démarche d'écoconception selon la norme NF X30-264
 - Reglementations environnementales (RoHS, Reach, DEEE, ...)
 - Formation à l'éco-innovation
 - Formation au management environnemental (SME)
- Autre : _____



18. Quel(s) format(s) pédagogique(s) utilisez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

CM

TD

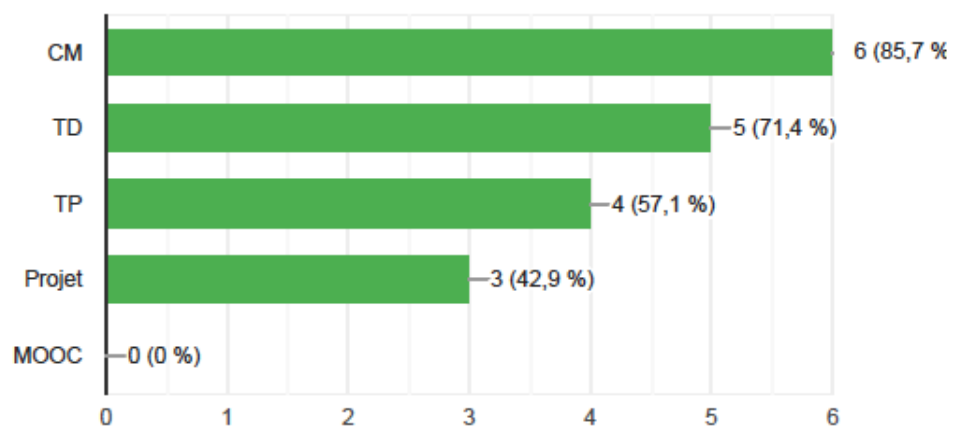
TP

Projet

MOOC

Autre : _____

7 réponses



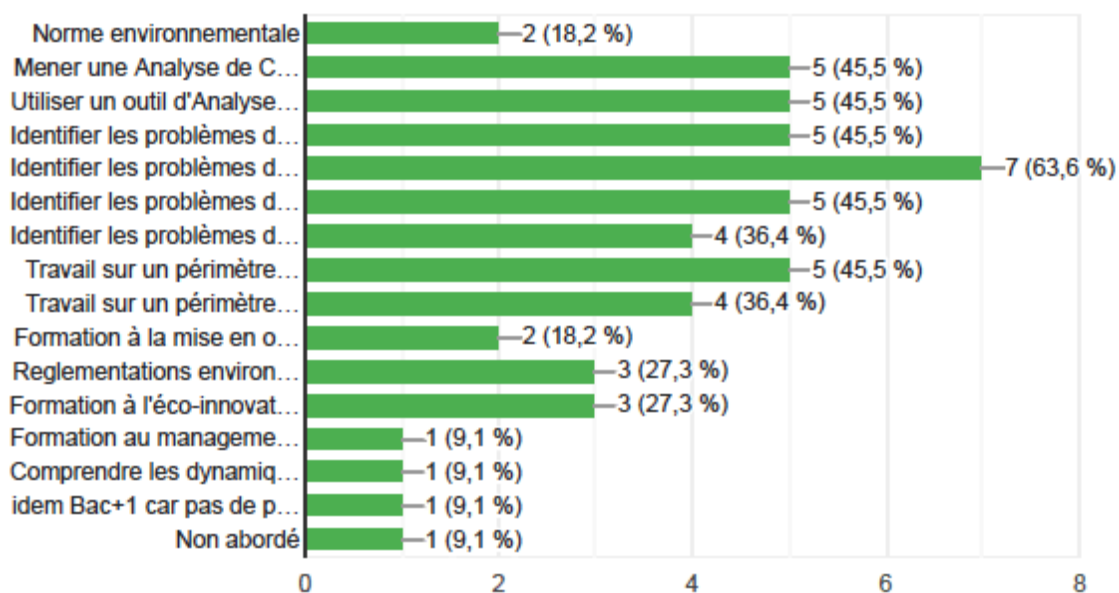
Objectifs de connaissances BAC+2

19. Quels sont les objectifs pédagogiques visés ?

Plusieurs réponses possibles.

- Norme environnementale
 - Mener une Analyse de Cycle de Vie
 - Utiliser un outil d'Analyse de Cycle de Vie
 - Identifier les problèmes de durabilité liés au process
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux choix de matériaux
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux ressources énergétiques
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux usages des produits
 - Travail sur un périmètre produit
 - Travail sur un périmètre plus large
 - Formation à la mise en oeuvre d'une démarche d'écoconception selon la norme NF X30-264
 - Reglementations environnementales (RoHS, Reach, DEEE, ...)
 - Formation à l'éco-innovation
 - Formation au management environnemental (SME)
- Autre : _____

11 réponses



Annexes

20. Quel(s) format(s) pédagogique(s) utilisez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

CM

TD

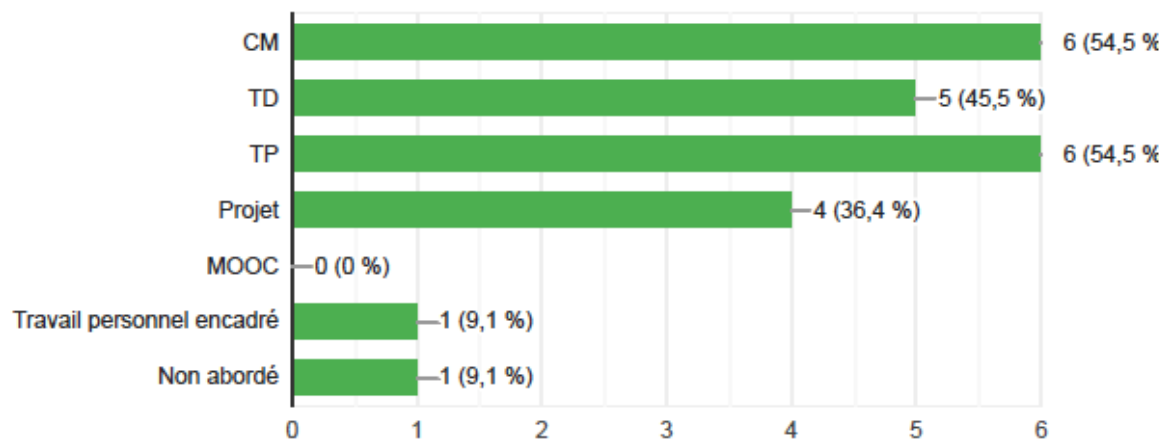
TP

Projet

MOOC

Autre : _____

11 réponses



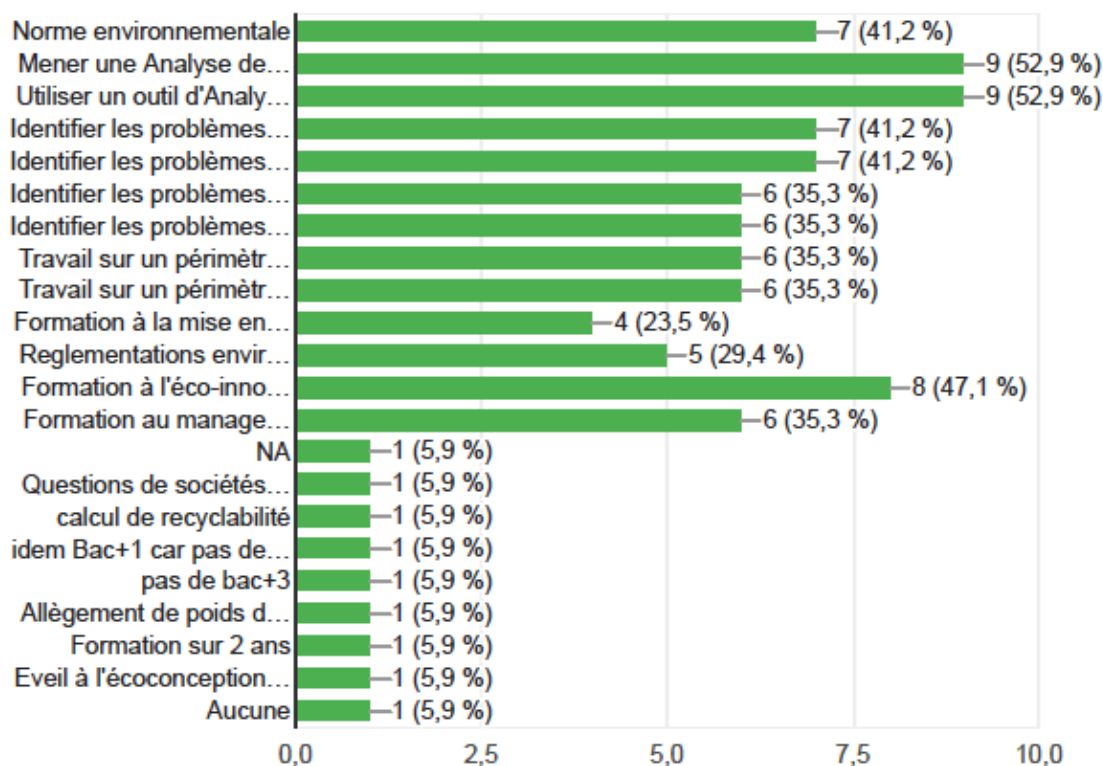
Objectifs de connaissances BAC+3

21. Quels sont les objectifs pédagogiques visés ?

Plusieurs réponses possibles.

- Norme environnementale
 - Mener une Analyse de Cycle de Vie
 - Utiliser un outil d'Analyse de Cycle de Vie
 - Identifier les problèmes de durabilité liés au process
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux choix de matériaux
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux ressources énergétiques
 - Identifier les problèmes de durabilité liés aux usages des produits
 - Travail sur un périmètre produit
 - Travail sur un périmètre plus large
 - Formation à la mise en oeuvre d'une démarche d'écoconception selon la norme NF X30-264
 - Reglementations environnementales (RoHS, Reach, DEEE, ...)
 - Formation à l'éco-innovation
 - Formation au management environnemental (SME)
- Autre : _____

17 réponses



22. Quel(s) format(s) pédagogique(s) utilisez-vous ?

Plusieurs réponses possibles.

CM

TD

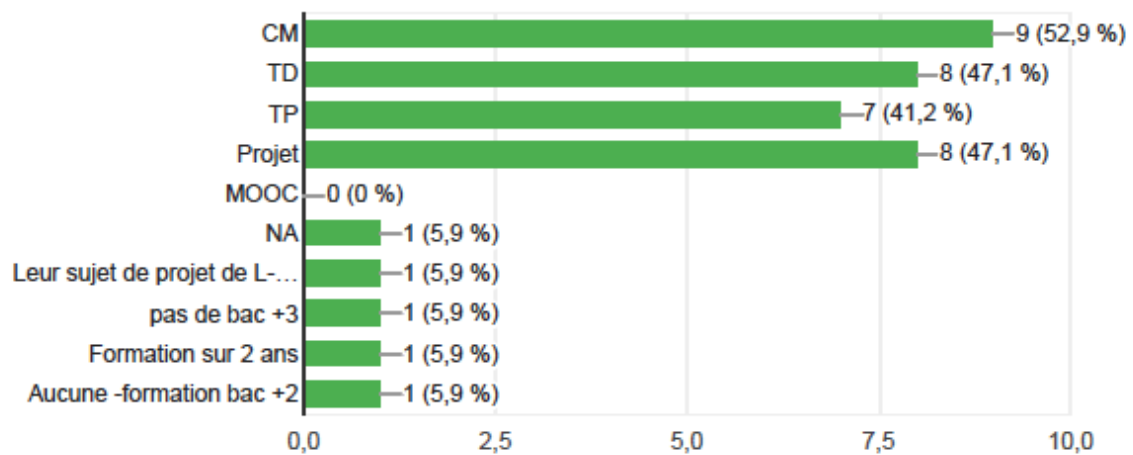
TP

Projet

MOOC

Autre : _____

17 réponses

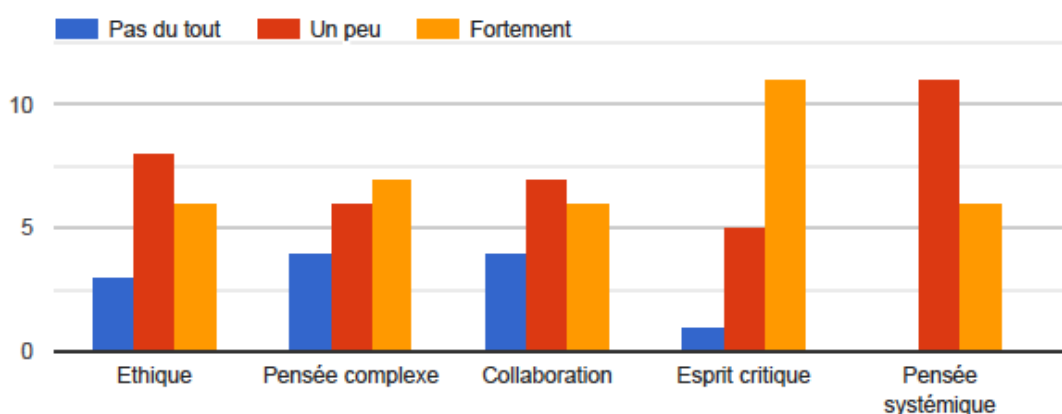


Objectif en termes de Compétences transversales : La formation à l'écoconception requiert des connaissances mais également des compétences plus transversales.

23. Selon vous quelles compétences transversales sont travaillées par l'intermédiaire de vos modules de formation à l'écoconception ? *

Une seule réponse possible par ligne.

	Pas du tout	Un peu	Fortement
Ethique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pensée complexe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Collaboration	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Esprit critique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pensée systémique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Agilité	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



24. Quelle est selon vous la compétence primordiale pour aborder correctement l'écoconception ? *

Réponses :

- Collaboration
- Pensée systémique
- Savoir prendre du recul sur une problématique complexe
- pluridisciplinarité
- PLM

- approche globale
- Pensée complexe et systémique
- sensibilité environnementale avec un esprit multiple
- pensée complexe ou éthique, j'hésite
- Ethique
- La connaissance générale des matériaux et des procédés de fabrication. La connaissance de la chimie est aussi un atout pour aborder l'écotoxicité.
- Sensibilité au domaine
- Avoir du bon sens et des idées, mais je suis plutôt novice en la matière, je faisais le cours parce qu'il fallait le faire...
- Intégrer l' Impact environnemental
- je ne comprends pas la question.
- Bien connaître le cycle de vie d'un produit, pour comprendre ou imaginer l'impact environnemental qu'à un produit, tout au long de son cycle.
- Pensée complexe

25. Commentaires:

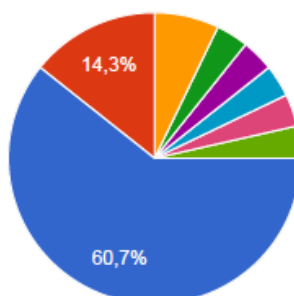
Réponses :

- Je ne suis pas certaine de comprendre le terme agilité: capacité de réflexion ou d'interaction intrinsèque à la pensée critique, systémique et complexe? Dans ce cas, c'est essentiel, déclinable à toutes échelle et tout process utilisant des outil/méthode en conception.
- Travailler aussi fortement son ouverture d'esprit et sa culture générale
- Nous n'abordons pas l'éco-conception du point de vue de la chimie (éco-toxicité, acidification, etc) du fait que nous délivrons un diplôme d'Ingénieur en mécanique. Par contre cet aspect est complété dans le cadre d'un Master Génie-mécanique, parcours "Eco-conception de produits", master en co-accréditation entre l'UTBM, l'Université de Franche Comté et l'ENSM de Besançon.

Perception de la sensibilité des étudiants aux problématique de durabilité

26. Diriez-vous que les étudiants sont sensibles à la question environnementale ? *
Une seule réponse possible.

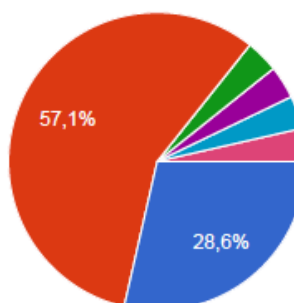
- OUI 28 réponses
- NON
- NSP
- Autre :



- OUI
- NON
- NSP
- Oui mais c'est un sujet tellement vaste et chargé de...
- La filière en éco-conception n'est pas plébiscitée
- Une partie
- Ca commence à les souler (e...
- Ils le sont plus qu'en 2005, m...

27. Diriez-vous que les étudiants ont une base de connaissances, des valeurs et une certaine forme de culture sur ce thème ? *
Une seule réponse possible.

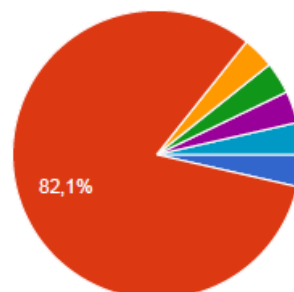
- OUI 28 réponses
- NON
- NSP
- Autre :



- OUI
- NON
- NSP
- Un peu
- Oui mais vraiment différentes et propres à l'individu, son milie...
- Normalement oui car élèves venant de STI2D (DD pour dé...
- certaines idées reçues, le plus souvent non argumentées

28. Si oui cette base vous semble-t-elle solide ? *
Une seule réponse possible.

- OUI 28 réponses
- NON
- Autre :



- OUI
- NON
- très variable en fonction des étudiants et de leurs centres...
- Soit l'étudiant à été formé solidement (mais c'est très trè...
- Ca blablate donc ils sentent bien que peux d'arguments s...
- J'ai répondu non à la question précédente

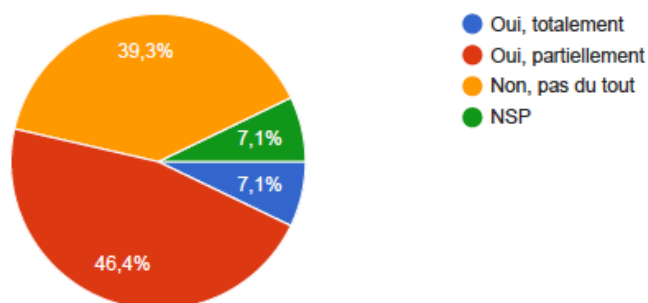
29. Selon vous, comment se sont construits ces connaissances, à partir de quel(s) support(s) ? *

Réponses :

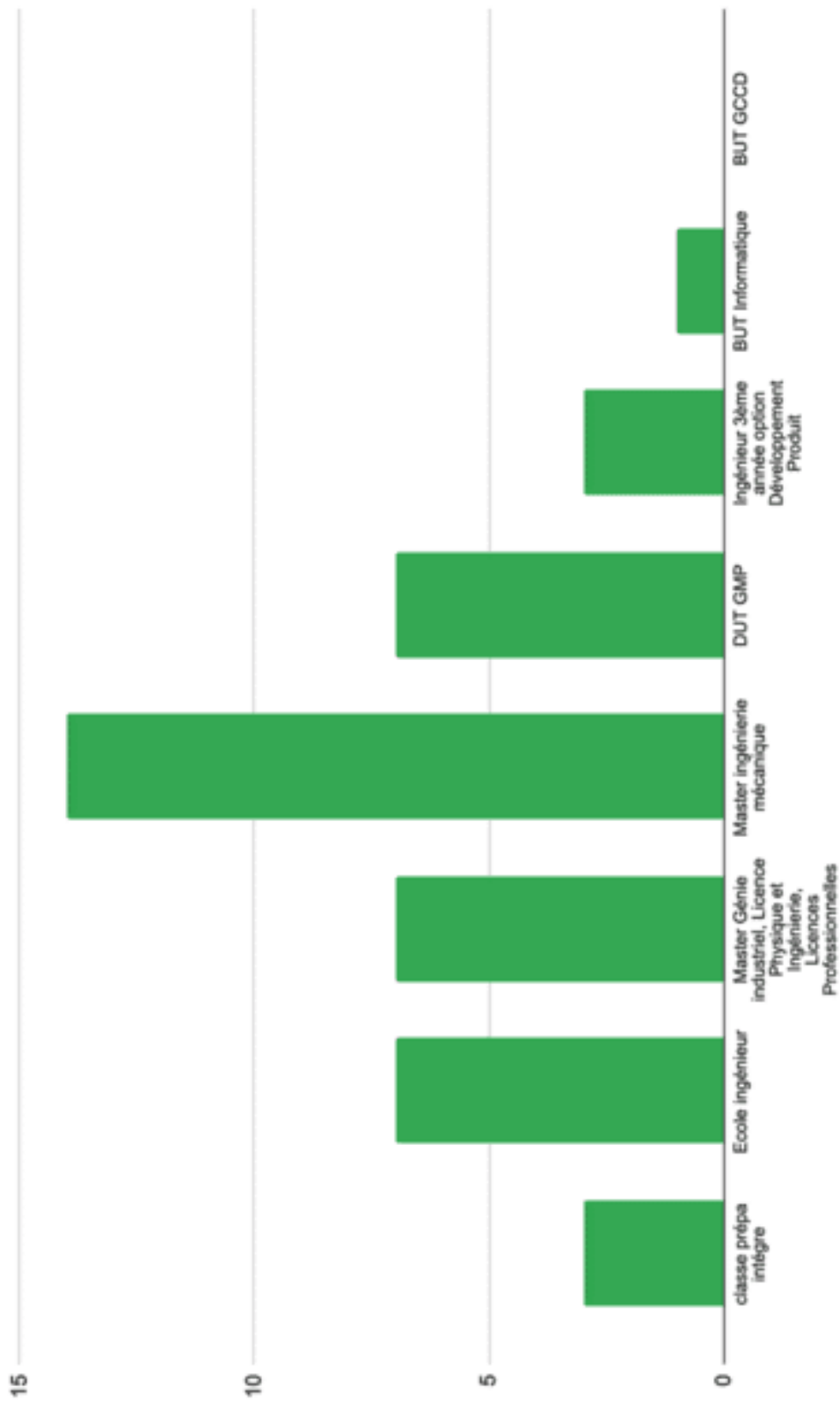
- à partir de l'ADEME et d'organismes conseil
- cours de lycée (mauvais opinion) ou lecture personnelles
- Médias
- cas d'études
- enjeux sociétal
- médias
- Aucune connaissance
- Lycée parfois notions d'EC abordées, mais difficile d'avoir une vision exacte de ce qu'ils ont abordé, et dépendants des profs en amont; puis recherche personnelle (un picorage); parfois en entreprise (sur le terrain), mais comme ils se retrouve dans le BE les aspects SME sont réservés au service qualité et sont perçus comme des contraintes et souvent comme du "pipeau"... YouTube, Ted, journaux, Facebook / événements, ... Par contre globalement mes étudiants ne lisent pas de livre (c'est d'ailleurs impressionnant, même 2 pages de lecture sur le thème choisi des révolutions invisibles peut leur demander des semaines... ils ont vraiment du mal à lire). BD...
- articles de presse, conférences internationales, médias...
- Des idées reçues et partielles, pour les quelques qui sont vraiment avertis sur la question : formation personnelle
- Travaux en projet
- Ce ne sont pas des connaissances mais une sensibilisation et une prise de conscience des enjeux environnementaux à partir des médias et internet.
- web
- personnelles et familiales
- Uniquement des questions sociétales à partir des médias et d'une vision de prof de géographie
- Les médias ...
- na
- nSP
- Ils ne se sont pas construits...
- internet
- Formation initiale
- En ont entendu parler.
- ils n'ont pas de connaissances. Ils ne connaissent même pas les consignes de tri des déchets instaurées avant leur naissance !
- Les médias, principalement
- réseaux sociaux, WEB

30. Vous appuyez-vous sur ces connaissances, ces valeurs et cette culture pour concevoir (ou faire évoluer) et mettre en œuvre vos formations ? *
Une seule réponse possible.

- Oui, totalement 28 réponses
- Oui, partiellement
- Non, pas du tout
- NSP



2. Dans quelle(s) formation(s), intervenez-vous?

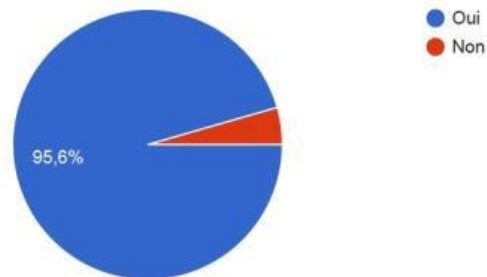


3. Vous sentez-vous concernés par cette problématique? *

Une seule réponse possible.

45 réponses

- Oui Passer à la question 15
- Non Passer à la question 4



**Suite du questionnaire pour les personnes ayant répondu NON à la question 3
(répondants non concernés par les enseignements à la transition soutenable)**

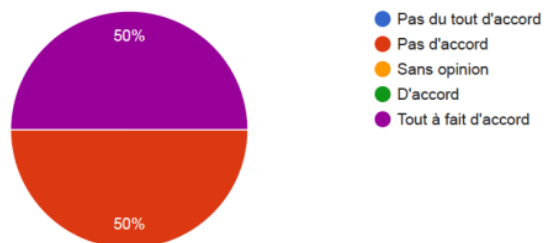
Pour nous aider à mieux cerner les facteurs qui font que vous ne vous sentez pas concerné par l'ingénierie durable, vous diriez que :

4. Les cursus des cours d'ingénierie sont surchargés et qu'il n'y a pas forcément la place pour ajouter des cours sur la durabilité

Une seule réponse possible.

2 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

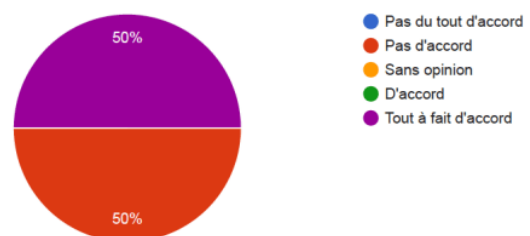


5. Comme la durabilité est généralement perçue suivant une orientation environnementale, il est difficile de débattre des aspects économiques et sociaux dans les disciplines de l'ingénierie

Une seule réponse possible.

2 réponses

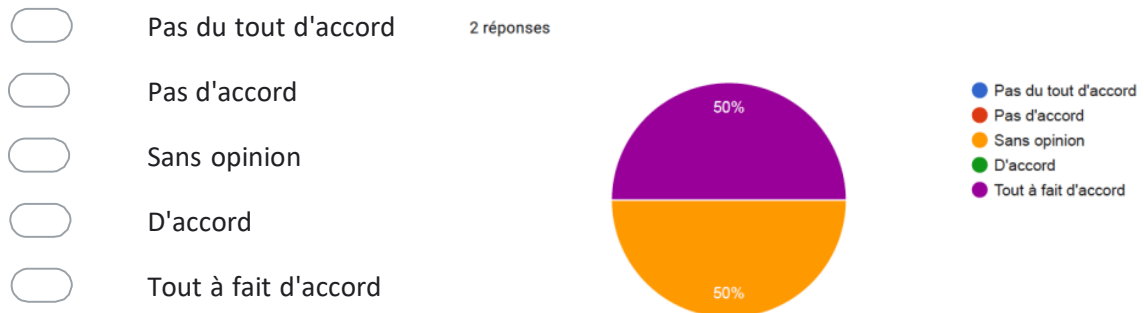
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



Annexes

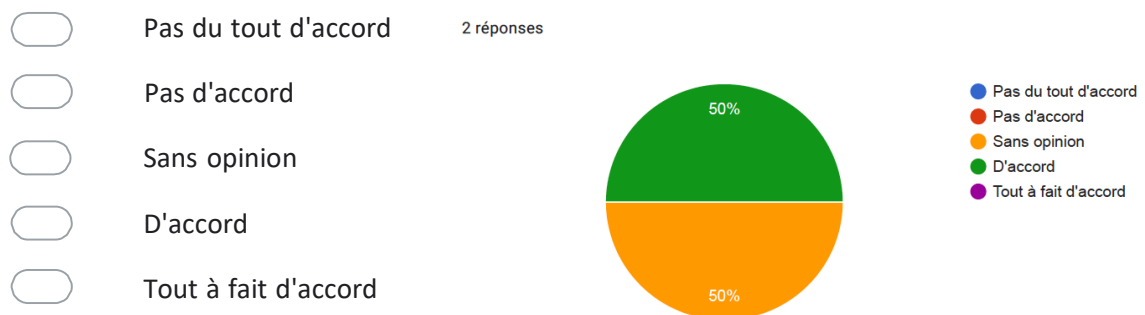
6. Il y a un manque de ressources pédagogiques (supports de cours, de TD, de TP, études de cas, etc.) adaptées et constamment mises à jour qui traitent de tous les volets de la durabilité pour les cours d'ingénierie

Une seule réponse possible.



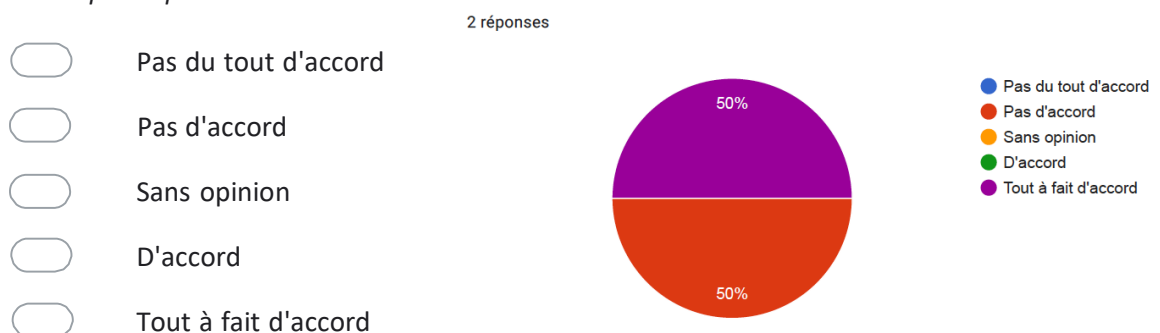
7. Il y a un écart entre ce qui est enseigné dans les cours d'ingénierie sur la durabilité et les besoins réels du marché

Une seule réponse possible.



8. Il est difficile de mettre en œuvre la transdisciplinarité dans l'enseignement de la durabilité

Une seule réponse possible.

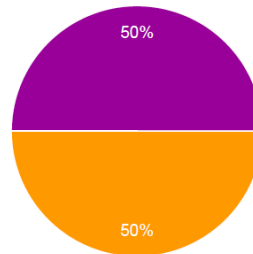


9. Il est difficile de constituer une équipe pédagogique avec des enseignants compétents et volontaires pour répondre aux enjeux et aux besoins actuels liés à l'enseignement de la durabilité

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



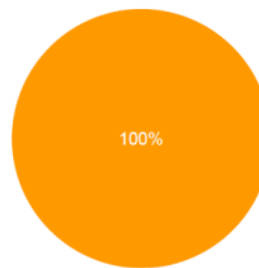
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

10. Il y a un manque d'intérêt des étudiants de premier cycle en génie industriel pour les sujets liés à la durabilité

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



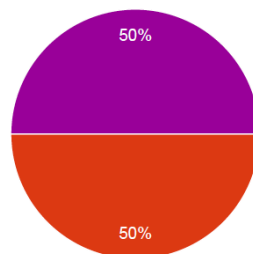
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

11. Il y a un manque de motivation des enseignants par rapport à l'insertion de la durabilité dans le cursus d'ingénierie

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



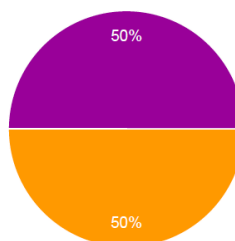
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

12. Il y a un manque d'installations et/ou de ressources matérielles (Fablab, logiciels spécifiques, etc.) adéquates pour développer des activités pédagogiques associées à la durabilité

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



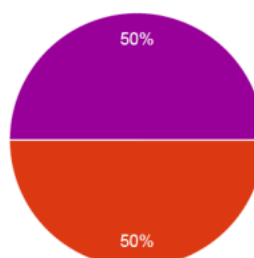
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

13. Il y a une difficulté à changer ou à mettre en œuvre de nouvelles pratiques pour l'enseignement de la durabilité en raison de la rigidité des structures institutionnelles

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



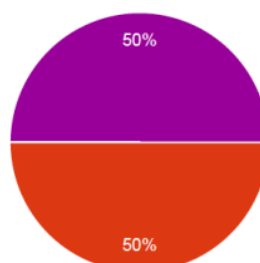
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

14. Vous souffrez d'un manque de soutien de la direction de votre école ou de votre université (vision stratégique intégrant la durabilité, programme et dynamique visant à promouvoir davantage l'enseignement de la durabilité, etc.)

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

2 réponses



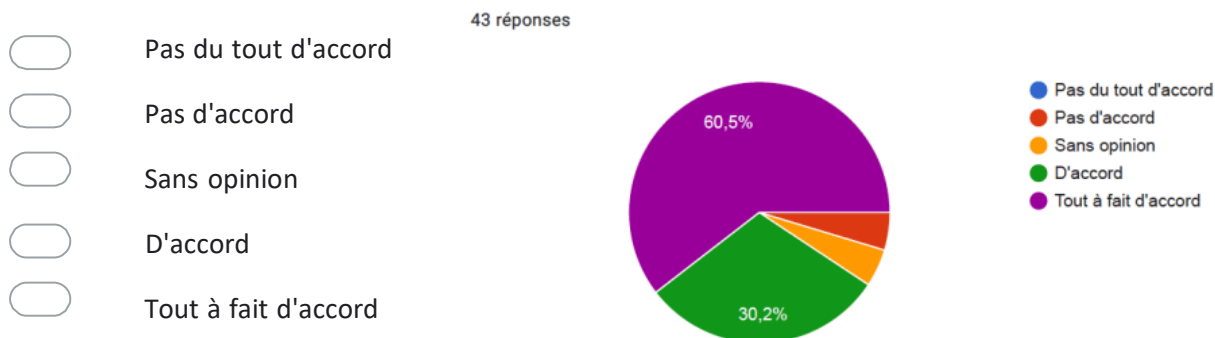
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

**Suite du questionnaire pour les personnes ayant répondu OUI à la question 3
(répondants concernés par les enseignements à la transition soutenable)**

Pour intégrer la "soutenabilité" dans vos enseignements en développant **une vision globale et systémique** du DD chez vos étudiants(es), diriez-vous que :

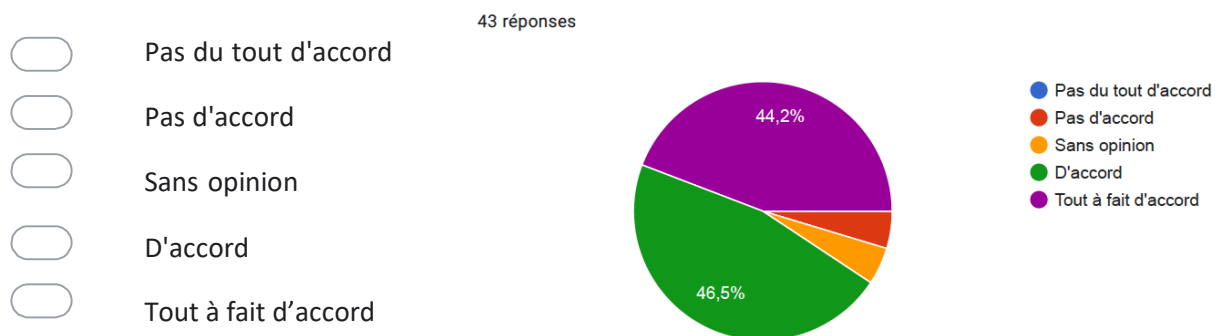
15. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances générales (limites planétaires, lien climat-énergie,...) sont nécessaires pour permettre une compréhension du système Terre dans la mise en œuvre de l'ingénierie soutenable

Une seule réponse possible.



16. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances spécifiques (biodiversité locale, droit de l'environnement, éco toxicité,...) sont nécessaires pour mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes et les enjeux associés

Une seule réponse possible.



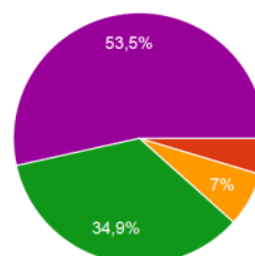
Annexes

Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances sur les principes de l'économie circulaire sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

43 réponses



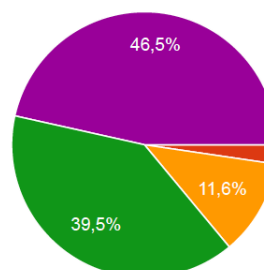
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

17. L'utilisation d'études de cas sur les limites planétaires, le lien climat-énergie, l'économie circulaire, etc. est une modalité pédagogique appropriée pour développer des compétences systémiques chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

43 réponses



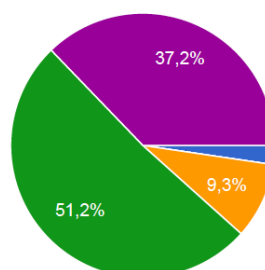
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

18. Ces ressources pédagogiques et des études de cas permettent de développer la pensée systémique et l'esprit critique des étudiants dans le cadre des formations pour une ingénierie durable

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

43 réponses



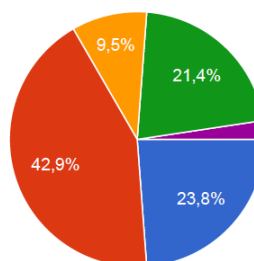
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

19. Les ressources pédagogiques dont vous disposez sur ces thématiques pour concevoir vos cours sont suffisantes en termes de nombre, de qualité et d'accessibilité

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

42 réponses



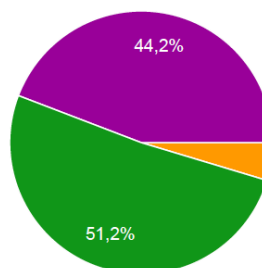
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

20. Vous êtes prêt(e) à vous former pour progresser sur ces thématiques et à exploiter dans vos cours les ressources pédagogiques associées si elles étaient mises à votre disposition

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

43 réponses

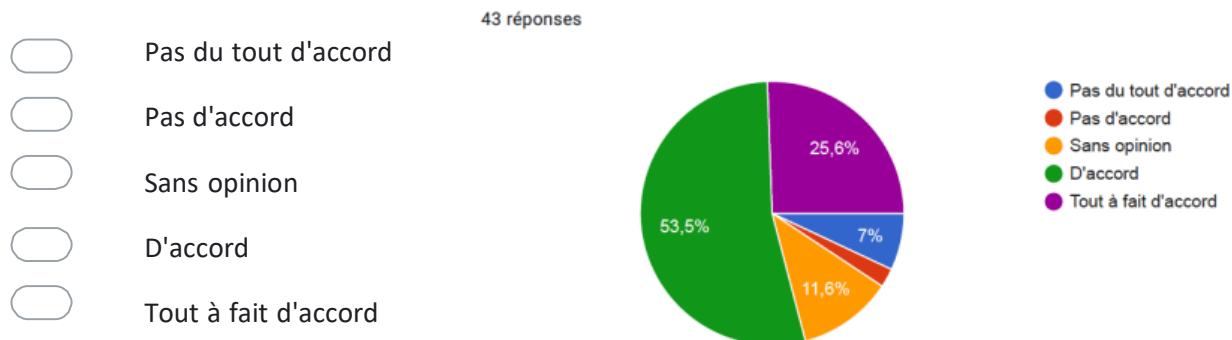


- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

Pour intégrer la "soutenabilité" dans vos enseignements en développant la notion d'éthique et les valeurs du DD chez vos étudiants(es), diriez-vous que :

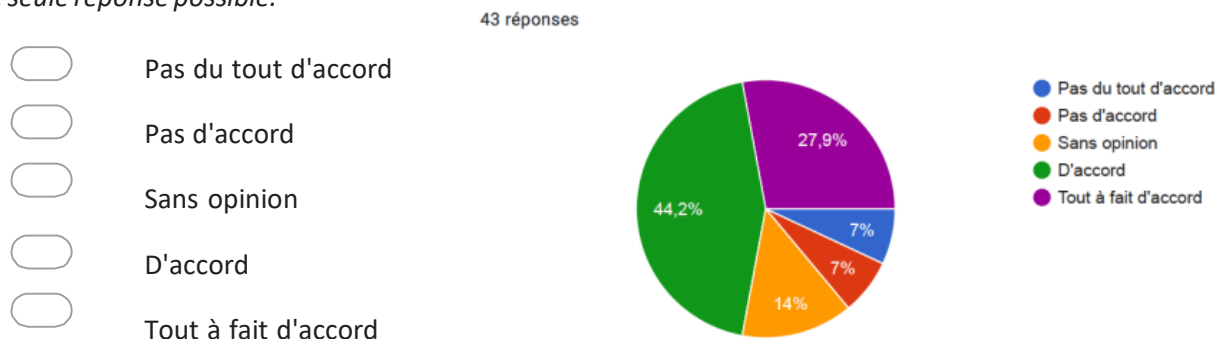
21. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances sur les principes de la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.



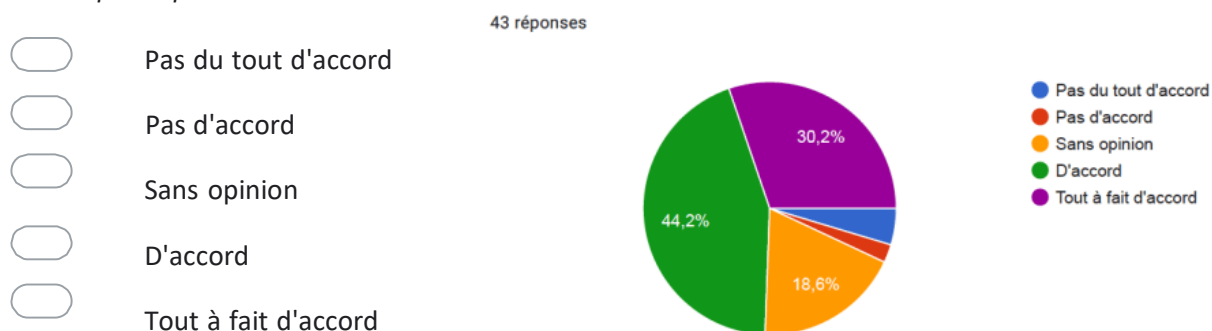
22. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances sur les principes de l'Economie Sociale et Solidaire (ESS) sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.



23. L'utilisation d'études de cas sur la RSE et/ou l'ESS est une modalité pédagogique appropriée pour développer des compétences éthiques chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

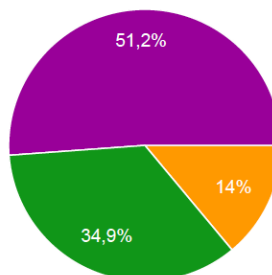


24. Les études de cas doivent conduire à mettre les étudiants(es) face à leurs responsabilités pour identifier certains dilemmes et développer l'éthique de l'ingénieur (effet rebond, effet de masse, transition numérique...)

Une seule réponse possible.

43 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



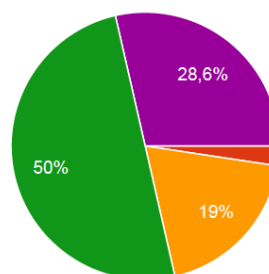
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

25. Ces ressources pédagogiques et des études de cas permettent de développer des compétences éthiques et les "valeurs" du DD chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



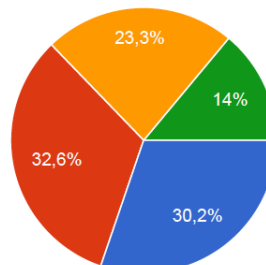
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

26. Les ressources pédagogiques dont vous disposez sur ces thématiques pour concevoir vos cours sont suffisantes en termes de nombre, de qualité et d'accessibilité

Une seule réponse possible.

43 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



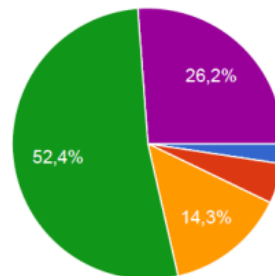
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

27. Vous êtes prêt(e) à vous former pour progresser sur ces thématiques et à exploiter dans vos cours les ressources pédagogiques associées si elles étaient mises à votre disposition

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

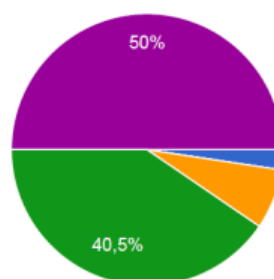
Pour intégrer la "soutenabilité" dans vos enseignements en développant **une vision des enjeux techniques et des solutions technologiques** du DD chez vos étudiants(es), diriez-vous que :

28. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, logiciels, etc.) proposant des connaissances sur les outils de l'ingénieur pour le développement durable (ACV, Low tech, maîtrise des normes...) sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

42 réponses



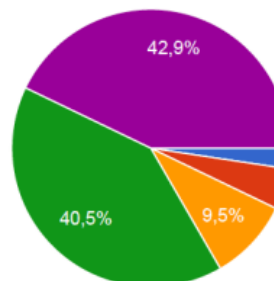
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

29. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, logiciels, etc.) proposant des connaissances sur la maîtrise des logiciels d'ACV sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

42 réponses



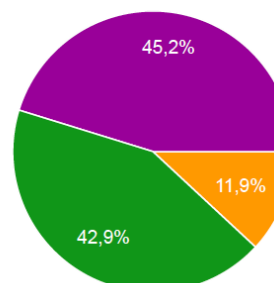
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

30. Les projets collaboratifs interdisciplinaires sont une modalité pédagogique appropriée pour mettre en œuvre les compétences techniques et transversales (systémique, éthique, etc.) en ingénierie durable des étudiants(es)

Une seule réponse possible.

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

42 réponses



- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

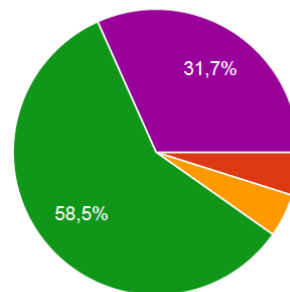
Annexes

31. Ces ressources pédagogiques et des projets interdisciplinaires permettent de développer des compétences techniques en ingénierie durable chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

41 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



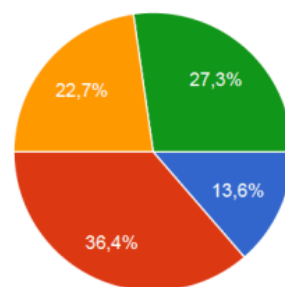
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

32. Les ressources pédagogiques dont vous disposez sur ces thématiques pour concevoir vos cours sont suffisantes en termes de nombre, de qualité et d'accessibilité

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



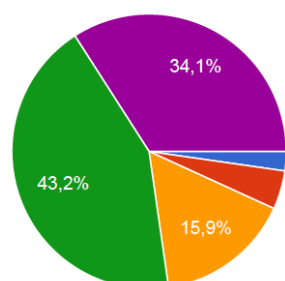
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

33. Vous êtes prêt(e) à vous former pour progresser sur ces thématiques et à exploiter dans vos cours les ressources pédagogiques associées si elles étaient mises à votre disposition

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

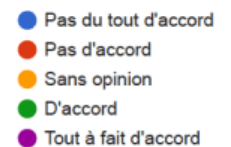
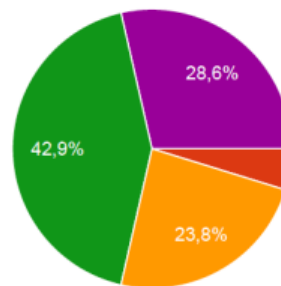
Pour intégrer la "soutenabilité" dans vos enseignements en développant **une vision historique et prospective** du DD chez vos étudiants(es), diriez-vous que :

34. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances sur les visions historique et épistémologique du développement durable (évolutions et perspectives) sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

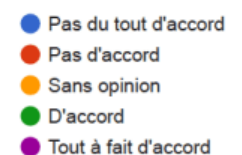
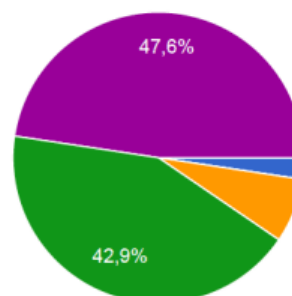


35. Des ressources pédagogiques (supports de cours, TD, TP, etc.) proposant des connaissances sur la question de la transition post-carbone, de l'adaptation au changement climatique et de l'ingénierie résiliente sont nécessaires dans le cadre d'une formation en ingénierie durable

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

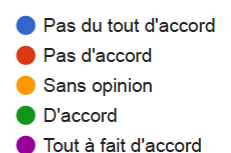
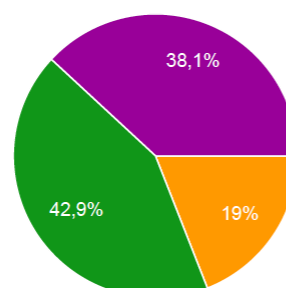


36. L'utilisation d'études de cas sur les transitions, l'adaptation, l'ingénierie résiliente, etc. est une modalité pédagogique appropriée pour mettre en œuvre des compétences de créativité, de projection et d'anticipation chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

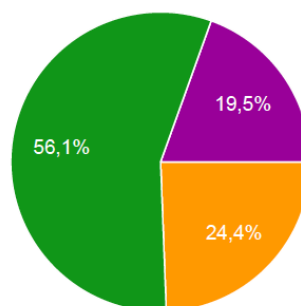


37. Ces ressources pédagogiques et les études de cas permettent de développer des compétences en termes de créativité, d'anticipation, de prospective, etc. chez les étudiants(es)

Une seule réponse possible.

41 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



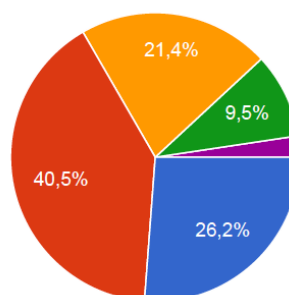
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

38. Les ressources pédagogiques dont vous disposez sur ces thématiques pour concevoir vos cours sont suffisantes en termes de nombre, de qualité et d'accessibilité

Une seule réponse possible.

42 réponses

- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



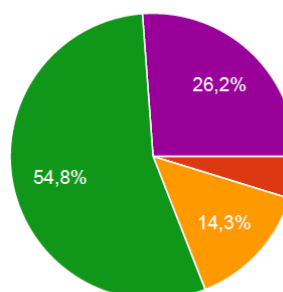
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

39. Vous êtes prêt(e) à vous former pour progresser sur ces thématiques et à exploiter dans vos cours les ressources pédagogiques associées si elles étaient mises à votre disposition

Une seule réponse possible.

42 réponses

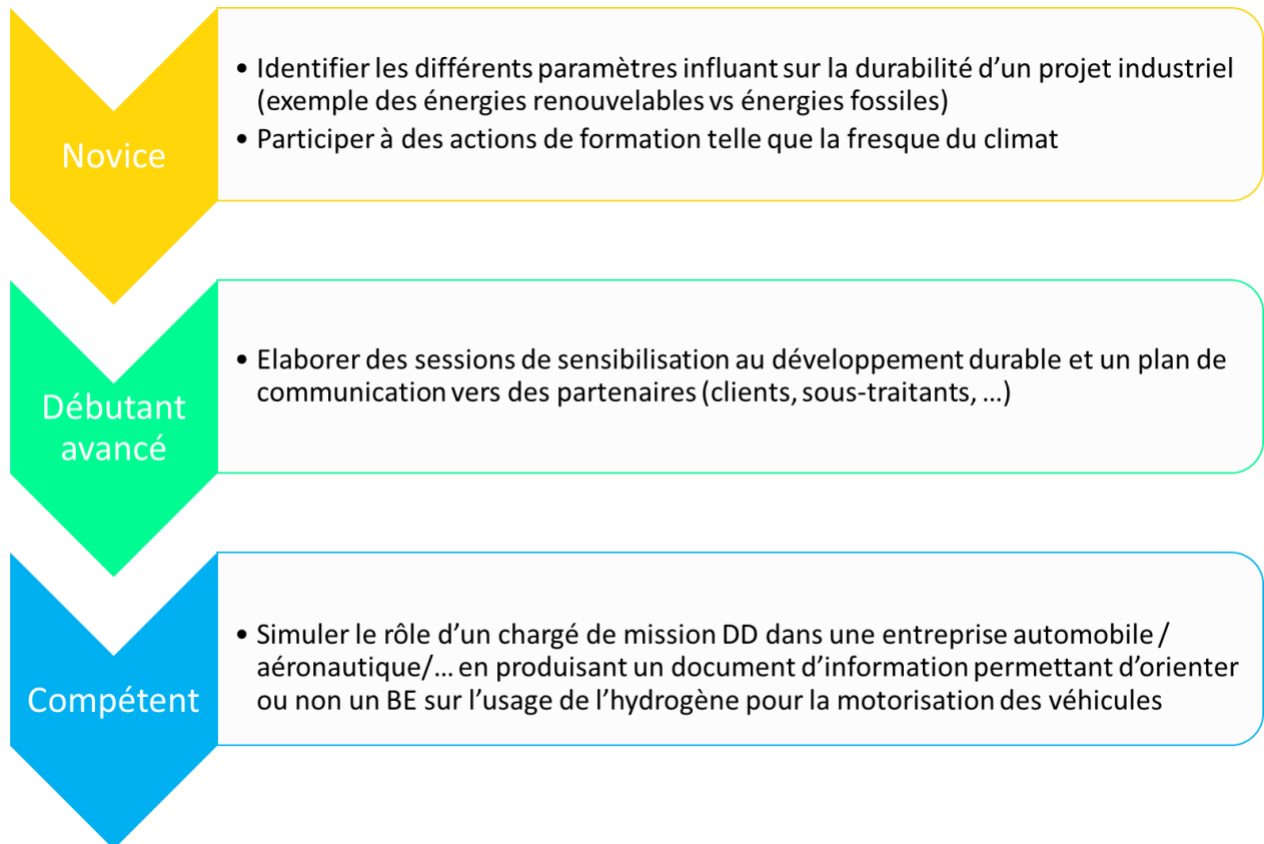
- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord



- Pas du tout d'accord
- Pas d'accord
- Sans opinion
- D'accord
- Tout à fait d'accord

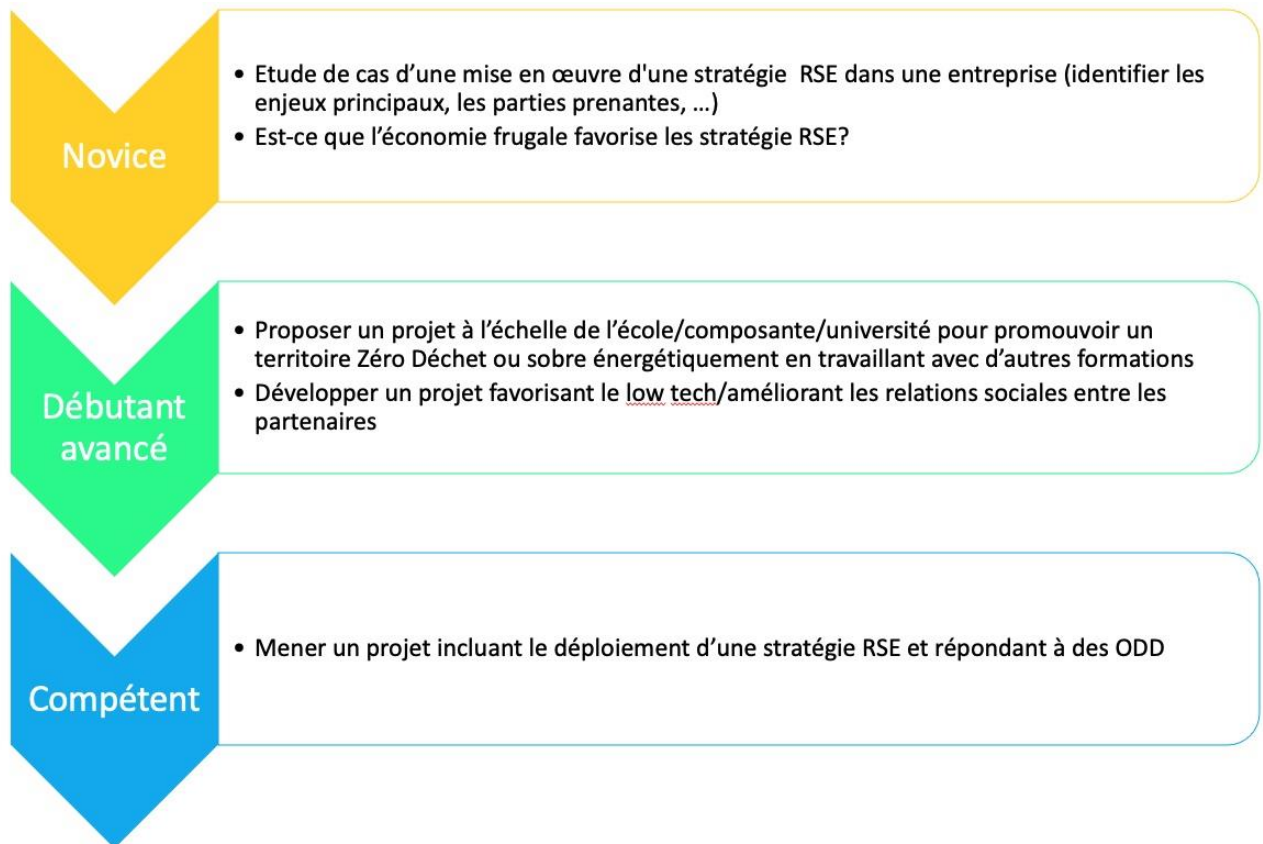
Annexes

Annexe 5. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En ayant une vision systémique et critique des enjeux liés au développement durable »



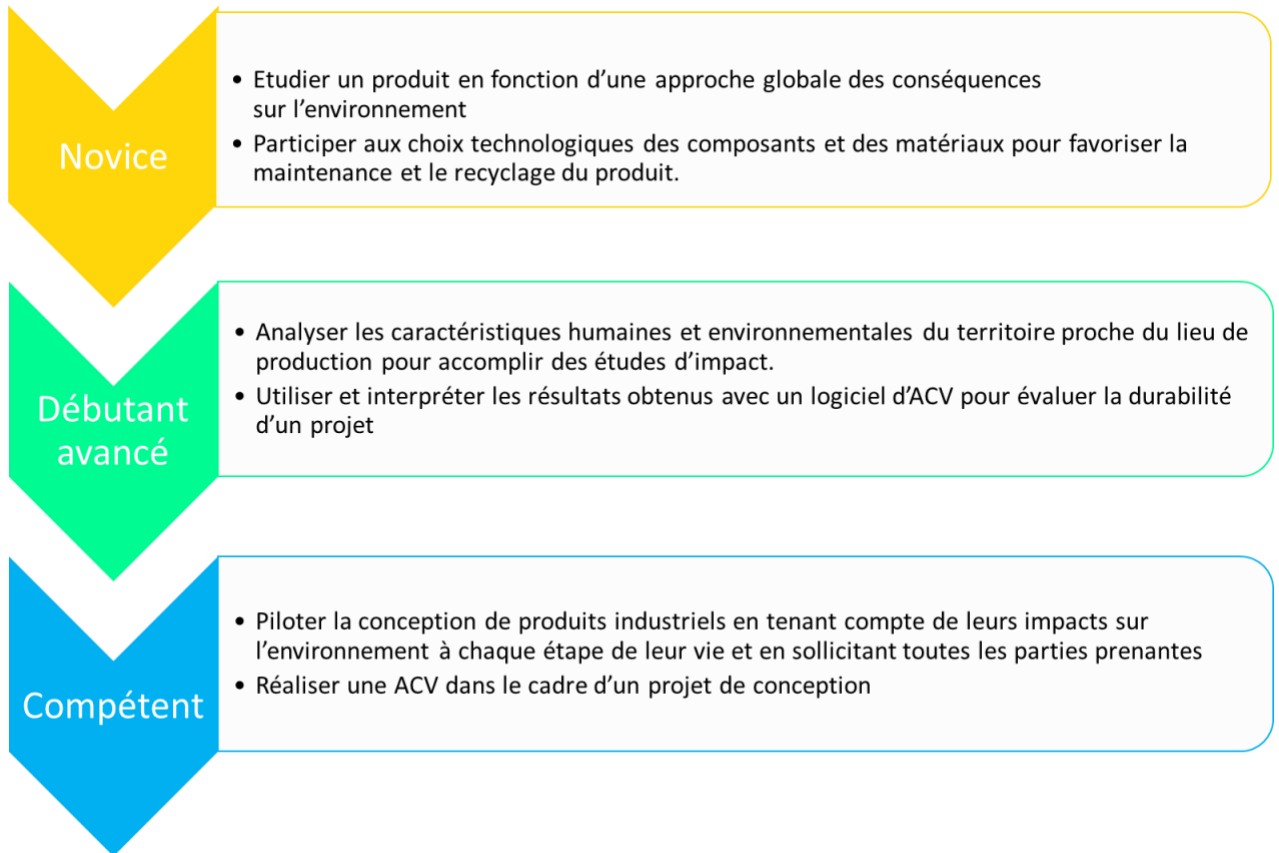
Annexes

Annexe 6. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En agissant en citoyen éthique et responsable dans le cadre d'un projet de conception »

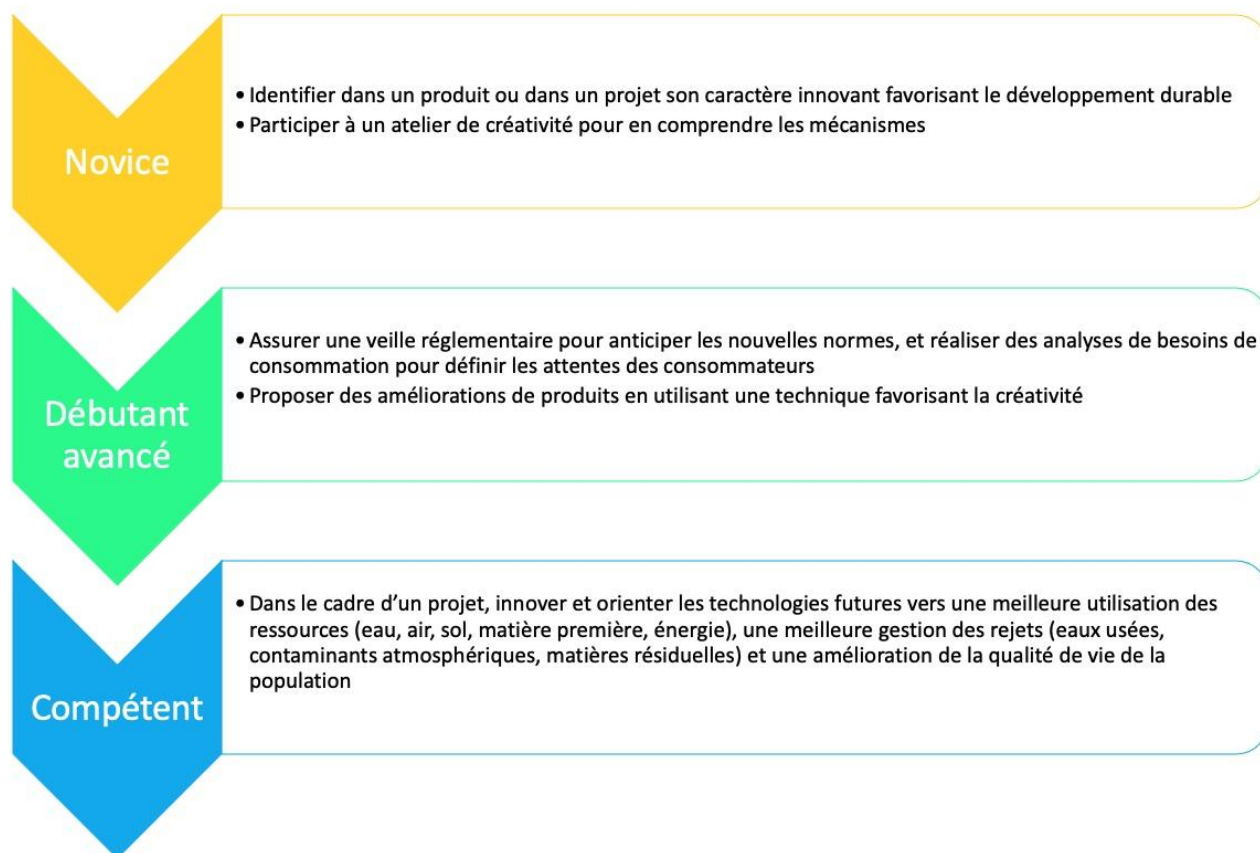


Annexes

Annexe 7. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En menant des projets d'ingénierie durable complexes et transversaux »

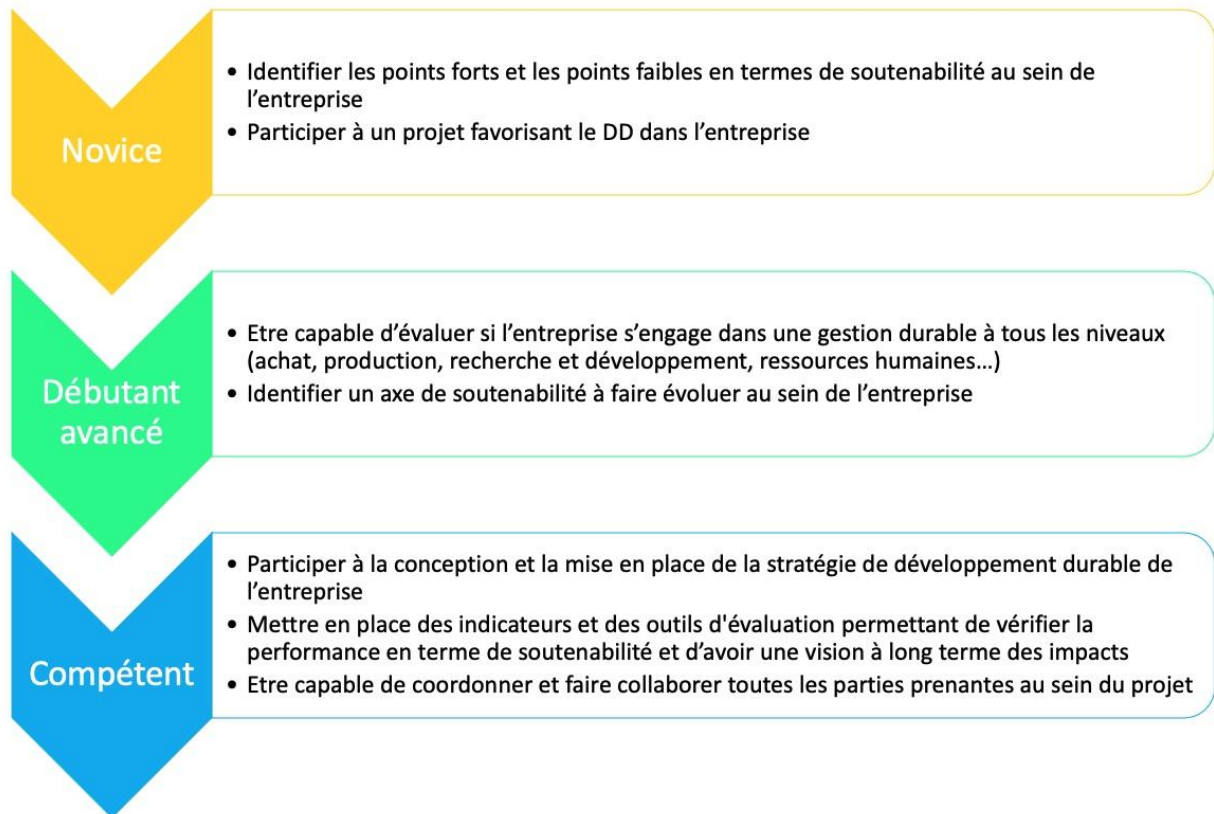


Annexe 8. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En développant sa capacité d'innovation et de créativité en menant des projets de soutenabilité »



Annexes

Annexe 9. Situations professionnelles pour la composante essentielle « En intégrant pleinement la soutenabilité dans un contexte industriel »



Annexe 10. Codes ROME associés pour un diplômé en BUT GMP

- H1203 : Conception et dessin produits mécaniques
- H1206 : Management et ingénierie études, recherche et développement industriel
- H1207 : Rédaction technique
- H1208 : Intervention technique en études et conception en automatisme
- H1210 : Intervention technique en études, recherche et développement
- H1301 : Inspection de conformité
- H1302 : Management et ingénierie Hygiène Sécurité Environnement -HSE- industriels
- H1402 : Management et ingénierie méthodes et industrialisation
- H1403 : Intervention technique en gestion industrielle et logistique
- H1404 : Intervention technique en méthodes et industrialisation
- H1502 : Management et ingénierie qualité industrielle
- H1506 : Intervention technique qualité en mécanique et travail des métaux
- H2502 : Management et ingénierie de production
- H2503 : Pilotage d'unité élémentaire de production mécanique ou de travail des métaux
- H2504 : Encadrement d'équipe en industrie de transformation
- D1407 : Relation technico-commerciale
- G1202 : Animation d'activités culturelles ou ludiques
- G1202 : Facilitateur / Facilitatrice de FabLab - laboratoire de fabrication numérique
- I1302 : Installation et maintenance d'automatismes
- I1304 : Installation et maintenance d'équipements industriels et d'exploitation
- I1310 : Maintenance mécanique industrielle
- M1101 : Achats
- M1402 : Conseil en organisation et management d'entreprise
- M1703 : Management et gestion de produit

Annexe 11. Présentation des caractéristiques des 3 gourdes étudiées dans le cadre de l'activité pédagogique de niveau novice

20,50 €



40cl

Corps : Tritan

Tag : Pearlthane ou Gaïalène -

Carte en papier FSC ou PEFC

MEILLEURE VENTE

2,50€



QUECHUA

GOURDE RANDONNÉE 100 BOUCHON À VIS 0,8 LITRE PLASTIQUE (TRITAN)

18 €



Une démarche Zéro-Déchet

La petite gourde vous accompagne dans votre déclin anti-plastique et la démarche globale du zéro déchet.

Nous proposons une gamme variée de produits nomades, sains et réutilisables. Buvez sainement grâce à nos produits en acier inoxydable. Maintenez votre boisson au chaud ou au froid grâce au double paroi inox, et infusez ou que vous soyez grâce à notre gamme d'infuseur nomade.

Indispensable, écologique et zéro déchet, votre petite gourde inox vous accompagnera au quotidien!

30cl

Corps : Inox

