

Institut

EDS Institut Hydro-Québec en environnement,
développement et société
de l'Université Laval

LES CAHIERS DE L'Institut EDS

Mai 2012

Enseignement du développement durable
en ingénierie :
un état des lieux

Barbara Bader

Professeure
Sciences de l'éducation

Christian Bouchard

Professeur
Génie des eaux

Nathalie Bacon

Doctorante
Sciences de l'éducation

Avec la collaboration de

François Anctil

Génie des eaux
et directeur de l'Institut EDS



UNIVERSITÉ
LAVAL



L'Institut EDS

L'Institut EDS (Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société) regroupe des membres de la communauté universitaire, provenant aussi bien de sciences sociales que de sciences dures ou appliquées, qui partagent un intérêt commun pour la recherche et la formation en environnement, développement et société.

Le mandat de l'Institut est de soutenir la recherche pluridisciplinaire et les synergies entre spécialistes, et de promouvoir une vision d'ensemble sur les questions d'environnement dans la société. L'Institut réalise ou facilite des activités visant l'approfondissement et la diffusion des connaissances, dans le domaine de l'environnement et du développement durable. Afin de faciliter l'atteinte de ces objectifs, la structure se veut souple, rassembleuse et ouverte.

Coordonnées de l'Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement,
développement et société
2440, Pavillon des Services
Boul. Hochelaga, local 3800
Université Laval, Québec, G1K 7P4
Téléphone : (418) 656-2723
Télécopieur : (418) 656-7330

Courriel : ihqeds@ihqeds.ulaval.ca



Barbara Bader

Barbara Bader est professeure en didactique des sciences, en éducation à l'environnement et au développement durable à la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université Laval et elle est titulaire de la Chaire de leadership en enseignement (CLE) des sciences et développement durable. Elle se spécialise dans l'innovation pédagogique et dans la formation initiale et continue des enseignants des écoles primaires et secondaires. Elle a reçu une formation d'ingénieur-agronome en France. Détentrice d'un doctorat en didactique des sciences, elle a publié les résultats de ses travaux de recherche subventionnés dans les revues *Exceptionality Education International*, *Science Education*, *International Journal of Environmental and Science Education*, et dans la *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et de la technologie*.



Christian Bouchard

Christian Bouchard est ingénieur et enseignant-chercheur au Département de génie civil et de génie des eaux de l'Université Laval. À ce titre, il enseigne et fait de la recherche dans le domaine du génie de l'environnement et du génie des eaux (traitement et gestion de l'eau). Il est membre de la Chaire de recherche en eau potable de l'Université Laval. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur (1980) à l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers à Paris, sa maîtrise en génie civil (1982) et son doctorat en génie chimique (1990) à l'École Polytechnique de Montréal.



Nathalie Bacon

Nathalie Bacon est professionnelle de recherche à la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université Laval. Elle participe à des projets de recherche en didactique des sciences dans une perspective de développement durable et au développement d'un jeu éducatif sur tablette tactile intégrant la réalité augmentée pour favoriser l'apprentissage de la physique au collégial. Elle a obtenu un baccalauréat en physique et une maîtrise en physique, avec spécialisation en optique et lasers, réalisée dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut National d'Optique (INO) et l'Université Laval.



Enseignement du développement durable en ingénierie : un état des lieux

Extrait du rapport «Enseignement du développement durable en ingénierie» déposé à La Faculté des sciences et de génie de l'Université Laval en octobre 2011

Par

Nathalie Bacon, Barbara Bader et Christian Bouchard

Avec la collaboration de

François Anctil

Université Laval

Mai 2012

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes pour leur soutien et leur contribution à la réalisation de cette étude;

- M. Nadir Belkhiter, Vice-Doyen, Faculté des sciences et de génie, Université Laval
- M. François Anctil, Professeur, Département de Génie civil et de génie des eaux, Université Laval
- M. Pierre Lemay, Agent de recherche et de planification, VRED, pour le Fonds de développement durable, Université Laval.

« Meeting fundamental human needs while preserving the life support systems of planet Earth is the essence of sustainable development »

Kates, 2002

Résumé

Compte tenu de l'émergence du développement durable (DD) en ingénierie à travers le monde, de l'évolution des normes d'évaluation des programmes d'ingénierie au Canada, du grand nombre de programmes en ingénierie à l'Université Laval (UL), de la volonté de l'UL de faire du DD une priorité institutionnelle, de l'obligation réglementaire d'initier tous les étudiants de 1^{er} cycle de l'UL au DD, il nous a semblé important de rassembler des connaissances et des expériences pertinentes en matière d'enseignement du DD en ingénierie pour supporter l'intégration du DD dans les programmes de 1^{er} cycle en ingénierie de l'UL. Nous proposons donc ici un état des connaissances de l'enseignement du DD en ingénierie (revue de littérature). De plus, à partir des informations collectées, nous élaborons une liste de recommandations et de stratégies d'intervention pour l'enseignement du DD en ingénierie.

La collecte d'information sur les pratiques d'intégration du DD dans l'enseignement a été faite par une revue bibliographique essentiellement dans des revues scientifiques et par une recherche sur Internet.

Le Tableau 1 présente une courte synthèse de la revue de littérature. Les numéros associés aux différents thèmes sont les mêmes que ceux utilisés dans le classement de la bibliographie à la fin de ce rapport. Ce tableau résume essentiellement les principes de la formation au DD en ingénierie, les diverses tentatives pour renouveler la formation, les compétences qui sont visées et les moyens qui peuvent être mis en œuvre pour développer ces compétences.

On rapporte dans la littérature des initiatives variées et riches qui contribuent déjà à renouveler la formation des ingénieurs au premier et au deuxième cycle universitaire dans différents milieux de formation. Des cours sur le DD sont créés (historique, définition, enjeux de la notion), des cours sur l'analyse interdisciplinaire de situations sont développés. On propose également des manières d'enrichir le processus de conception, tout comme la mise en œuvre de stratégies pédagogiques bien spécifiques qui visent le développement de compétences comme celles préconisées par le Bureau Canadien d'Agrément des Programmes de Génie (BCAPG).

Sur le plan des fondements de la formation, on ne peut négliger la prise en compte de considérations éthiques qui devraient être explicites dans la formation, allant jusqu'à inclure des préoccupations de justice sociale dans l'analyse et la prise de décision de l'ingénieur. Un travail de clarification de valeurs peut être mis de l'avant dans ce sens. On insiste également sur un changement de culture des ingénieurs, sur un renouvellement des manières de penser, afin que les ingénieurs soient de véritables acteurs et moteurs de progrès social, travaillant dans un esprit de collaboration réelle et d'ouverture aux prises de position d'acteurs divers, y compris celles de la société civile, impliqués dans les situations concrètes qu'ils traitent. On reconnaît également les incertitudes et les risques associés forcément à l'implantation réelle de procédés techniques. Il est régulièrement question de former les ingénieurs à l'analyse de problèmes réels et complexes, vers une culture du suivi continu des innovations et des techniques.

Un souci particulier est de développer une capacité à se représenter les problématiques de manière interdisciplinaire, vers un processus de conception renouvelé qui intègre de nouveaux acteurs. Il s'agit d'habiliter les ingénieurs à se donner des représentations plus riches tenant compte des contextes réels d'implantation et de développement.

Deux principes reviennent de manière récurrente :

- Identifier et considérer les aspects sociaux, environnementaux et économiques pour analyser plus globalement une situation (pensée systémique, capacité de comprendre des problèmes complexes, connaissances multidisciplinaires);
- Reconnaître la nécessité de collaborer avec d'autres acteurs pour considérer les diverses perspectives ou identifier plusieurs aspects en jeu (impliquer des personnes de formation ou de milieux divers, interdisciplinarité, audiences publiques, importance de savoir communiquer adéquatement avec toute personne concernée).

On retrouve en effet dans les écrits quelques grandes lignes directrices. Ce sont :

- Le souci de traiter des problèmes d'ingénierie de manière plus globale, interdisciplinaire, systémique, afin de croiser des connaissances et des préoccupations provenant de disciplines de références différentes, d'acteurs différents, de manière à éclairer différents aspects de la problématique en question, qu'ils soient sociaux, culturels, environnementaux. On peut noter que les stratégies d'enseignement repérées dans la littérature qui vont dans ce sens sont, par exemple, l'utilisation de cartes conceptuelles (voir section 4.4 de la bibliographie et l'article Lourdel (2007) en particulier pour la description d'une démarche de ce type). Les démarches visant une analyse interdisciplinaire d'une question d'ingénierie sont également centrales. On peut noter l'importance de la pédagogie par projet en ce sens (voir Lehmann, 2008).
- Une ouverture très nette est faite à des considérations éthiques en ingénierie : il est question d'occuper un territoire de manière responsable, de développer une certaine « philosophie » environnementale, d'enseigner la culture du suivi, la transparence des prises de décisions auprès des publics concernés. Des stratégies éducatives actives et participatives sont privilégiées (voir notamment la description de l'utilisation de la démarche de controverse structurée dans McLaughlan (2007) qui vise l'écoute empathique et l'articulation de positions divergentes pour une meilleure compréhension d'une question complexe).
- On vise le développement de connaissances et de compétences qui se rapprochent de celles repérées dans les principaux écrits sur la question (habileté à travailler en analysant des problèmes complexes, globaux, en situation réelle; développement de compétences pour le travail d'équipe; meilleure communication avec des publics diversifiés; le BCAPG souligne qu'il faut concevoir des « problèmes complexes et évolutifs »).
- On souligne l'importance de travailler en fonction des principes de la loi québécoise sur le DD, principes importants qui devraient être mieux connus et pourraient servir de balises à la mise sur pied d'une approche-programme en DD et ingénierie.
- On explicite clairement que des incertitudes et des risques existent, qu'il faut former les ingénieurs à les reconnaître et à les expliciter avec suffisamment d'ouverture d'esprit, de capacité de dialogue et de réflexivité, afin qu'ils envisagent des solutions alternatives en fonction de l'évolution à moyen terme et à long terme de leurs projets.

Ce sont là, les principes, les orientations, les manières d'enseigner le DD en ingénierie, tels que présentés dans la littérature consultée.

Miser sur une plus grande intégration de considérations éthiques en ingénierie semble également important si l'on considère sérieusement l'intégration du principe de précaution dans les prises de décision et la culture du suivi. Il y a là encore, tout un chantier de réflexion à développer pour enrichir la formation des ingénieurs en ce sens.

Suggestions

Des suggestions sont faites en fin de rapport en ce qui concerne le développement d'une stratégie de formation au DD en ingénierie. Des suggestions sur des actions qui pourraient découler d'une telle stratégie sont également faites.

Du point de vue stratégique, mentionnons par exemple l'établissement d'objectifs à long terme, l'ouverture à la diversité des opinions, la priorisation des actions, la diffusion des expériences et la circulation des informations et surtout, l'intégration des efforts avec la modernisation des programmes canadiens de 1^{er} cycle en ingénierie qui est demandée par le BCAPG et qui est en cours actuellement.

Parmi les actions suggérées, citons l'organisation et la participation à des forums d'échange, la mise sur pied d'un groupe ou d'une chaire, l'acquisition de matériel didactique, le lancement de projets pilotes, le démarrage de concours étudiants multidisciplinaires, etc.

Tableau 1. Synthèse bibliographique

PRINCIPES	<p>L'intégration du DD en génie doit s'appuyer sur une :</p> <p>(1) Une prise de position éthique plus ou moins marquée: allant d'une préoccupation de justice sociale à un travail d'explicitation de valeurs.</p> <p>(2) Transformation des mentalités et des manières de penser de l'ingénieur vers un renouvellement de la culture des ingénieurs et une redéfinition du rôle social de l'ingénieur. <i>Tenir compte des incertitudes, du principe de précaution, des acteurs impliqués, analyser une situation complexe, faire appel à l'interdisciplinarité, être créatif pour envisager des solutions novatrices. Concevoir l'ingénieur comme un acteur de progrès social.</i></p>
MISE EN PRATIQUE DES PRINCIPES	<p>(3) Tentatives de renouveler les formations en génie pour :</p> <p>Enrichir des connaissances (3.2) Cours de DD (3.3) Cours interdisciplinaires. Cours de culture générale en lien avec un domaine du génie. (3.4) Techniques</p> <p>(3.7) Renouveler les principes de conception en génie</p> <p>(3.5) Renouveler les outils de génie : outils de conception, d'évaluation, d'aide à la décision, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Conception simultanée</i> • <i>Études d'impacts environnementales</i> • <i>Analyse de cycle de vie globale</i> • <i>Analyse: gestion des risques et incertitudes</i> <p>(3.9) Comprendre et résoudre des problèmes réels et complexes</p> <p>(3.6) Développer une pensée systémique, une vision globale ou holistique.</p> <p>(3.8) Rechercher des solutions multidimensionnelles et novatrices</p> <p>(3.1) Développer des compétences (<i>voir tableau 1- suite</i>)</p> <hr/> <p>(4) Évaluer la mise en œuvre de stratégies d'enseignement:</p> <p>(4.8) Pédagogie par projets (<i>Lehmann, 2008</i>)</p> <p>(4.4) Travail de cartes conceptuelles (<i>Lourdel, 2007</i>)</p> <p>(4.2) Stratégies actives et participatives (<i>McLaughlan, 2007</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Simulation par jeux de rôle</i> • <i>Controverse structurée</i> • <i>Construction de scénarios</i> <p>(4.7) Interdisciplinarité (<i>Richter, 2009</i>)</p> <p>(4.1) Comparaison de stratégies pédagogiques (<i>Segalàs, 2010</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Cours magistraux</i> • <i>Apprentissage par projets</i> • <i>Études de cas</i> • <i>Apprentissage par problèmes</i> • <i>Backcasting</i> • <i>Jeux de rôle</i> <p>(4.5) Compétences sociales (<i>Emilsson, 2008</i>)</p> <hr/> <p>(5) Vers une formation de l'ingénieur à un processus de prise de décision renouvelé qui intègre différents éléments, vers le développement d'une culture du suivi des réalisations.</p>

Tableau 1(suite) - Synthèse bibliographique : développement des compétences

<p>Compétences générales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habileté pour travailler avec des problèmes complexes, globaux, interdisciplinaires. • Développement de compétences pour le travail d'équipe et la communication • Capacité d'évaluer la pertinence des options, des solutions. <p>Compétence à l'interdisciplinarité</p> <p>Compétence de collaboration pour identifier, intégrer et valoriser les multiples perspectives. Cela modifie leur propre compréhension et les pratiques. (<i>Richter 2009</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Compétences de collaboration interdisciplinaire</u> : Coopération, communication. Capacité d'impliquer et de travailler avec des acteurs variés, et d'intégrer leurs contributions dans un dossier. Aptitude à écouter, comprendre, collaborer, interagir, trouver des consensus, négocier et développer de nouvelles solutions ou approches avec des intervenants d'autres disciplines et avec les parties prenantes. Gestion participative. (<i>Lehmann, 2008</i>) • <u>Connaissances interdisciplinaires</u> : Développer une perspective interdisciplinaire et intégrée d'un problème. Éducation large pour comprendre les impacts globaux des solutions. (<i>Richter, 2009; Lehmann, 2008</i>)
<p>Compétences spécifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Connaissances techniques approfondies d'une discipline • Capacité de pensée systémique, globale ou holistique • Expertise interdisciplinaire • Compétences procédurales • Capacité de pensée critique • Capacité au travail d'équipe • Prise de décision de groupe, exprimer ses points de vue, argumenter, faire consensus, négociation • Leadership et communication.
<p>BCAPG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conception de solutions à des problèmes complexes et évolutifs • Travail individuel et en équipe multidisciplinaire. • Professionnalisme, rôle et responsabilité. • Impact du génie sur la société et l'environnement

Liste des tableaux

Tableau 1. Synthèse bibliographique	vi
Tableau 2. Principes de développement durable	2
Tableau 3. Principes d'ingénierie durable (Gagnon et Leduc, 2009).....	5
Tableau 4. Comparaison de l'ingénierie traditionnelle et de l'ingénierie durable Cushman-Roisin (2009) .	9
Tableau 5. Compétences associées au DD	21
Tableau 6. Stratégies pédagogiques pour développer des compétences en DD	22

Liste des figures

Figure 1. Synthèse bibliographique présentée sous la forme d'une carte conceptuelle	19
Figure 2. Apprentissage progressif en ingénierie durable (figure traduite et adaptée de Jawahir et al., 2007)	25

Table des matières

1	Contexte de l'étude.....	1
2	Objectifs de l'étude	12
3	Méthodologie de l'étude.....	13
4	Enseignement du DD en ingénierie : revue de littérature.....	15
4.1	Organisations, institutions et conférences notables.....	15
4.2	Synthèse de la revue de littérature.....	17
4.2.1	<i>Présentation de quelques articles de recherche choisis</i>	26
5	Recommandations	29
5.1	Élaborer une stratégie d'éducation au DD en ingénierie.....	29
5.2	Développer des approches et des outils pour la formation au DD en ingénierie.....	30
6	Conclusion.....	32
7	Références bibliographiques	33
8	Annexes.....	45
8.1	Analyse détaillée des 6 articles sélectionnés.....	46
8.1.1	<i>Article 1</i> : Lehmann (2008) - Stratégie par projets.....	47
8.1.2	<i>Article 2</i> : McLaughlan (2007) – Stratégies actives et participatives.....	49
8.1.3	<i>Article 3</i> : Lourdel (2007) – Stratégie : Cartes conceptuelles.....	54
8.1.4	<i>Article 4</i> : Richter (2009) – Compétence : interdisciplinarité.....	58
8.1.5	<i>Article 5</i> : Segalàs (2010) – Comparaison de stratégies	63
8.1.6	<i>Article 6</i> : Emilsson (2008) – Compétences sociales	65
8.2	Définition du DD issue du Centre for Sustainable Development du Département d'ingénierie de Cambridge	68

«We can't solve problems by using the same kind of thinking
we used when we created them »
Albert Einstein

« Society has evolved around the principle of fighting
against limits rather than learning to live with them »
Meadows (The Limits to Growth, 1972)

1 Contexte de l'étude

Intérêt pour le développement durable au Québec

Le concept du développement durable (DD) est mis de l'avant en 1980 dans la Stratégie mondiale de la conservation publiée par l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources¹. En 1987, une première définition officielle du DD est proposée, dans le rapport *Notre avenir à tous* (« *Our Common Future* ») ou rapport Brundtland, de la Commission Mondiale sur l'environnement et le développement (CMED). Le DD y est défini comme²:

« *Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts:*

- *the concept of 'needs', in particular the essential needs of the world's poor, to which overriding priority should be given; and*
- *the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs.»*

Au Québec, la mise en œuvre du DD débute dès la parution du Rapport Brundtland, alors qu'il y a un engagement officiel en faveur de la conservation de l'environnement. Au fil des années, Québec met en place divers plans d'action et fait la promotion du DD, notamment par la création de comités ayant pour mandat de favoriser l'intégration de ses principes dans les politiques et les programmes du gouvernement³. En avril 2006, la *Loi sur le développement durable*⁴, est adoptée⁵. Les organismes publics et parapublics doivent désormais tenir compte des 16 principes de DD, maintenant inclus dans la loi et parmi lesquels figure le principe de précaution, dans leurs actions et décisions. (Voir Tableau 2) Un

¹ Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN) (1980). *Stratégie mondiale de la conservation : La conservation des ressources vivantes au service du développement durable*. Gland, Suisse.

² World Commission on Environment and Development: *Our Common Future* (1989), Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427, www.un-documents.net/wced-ocf.htm, consulté le 13 juin 2011.

³ Gouvernement du Québec, 2002; Gouvernement du Québec, 2005

⁴ <http://www.mddep.gouv.qc.ca/developpement/loi.htm>, consulté le 2011-05-03.

⁵ Assemblée nationale (2006). *Loi sur le développement durable. Projet de loi n°118*. Éditeur officiel du Québec.

nouveau droit est ajouté dans la Charte des droits et libertés de la personne au Québec, soit celui de « vivre dans un environnement sain et respectueux de la biodiversité ». De plus, un « fonds vert » est créé pour financer des projets concrets en DD. Tel que prévu dans la loi, une stratégie gouvernementale de développement durable est élaborée en 2007⁶. La période couverte par cette stratégie va de 2008 à 2013. On assiste ainsi à l'institutionnalisation du concept de DD au Québec⁷.

Tableau 2. Principes de développement durable⁸

- « **santé et qualité de vie** » : les personnes, la protection de leur santé et l'amélioration de leur qualité de vie sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Les personnes ont droit à une vie saine et productive, en harmonie avec la nature;
- « **équité et solidarité sociales** » : les actions de développement doivent être entreprises dans un souci d'équité intra et intergénérationnelle ainsi que d'éthique et de solidarité sociale;
- « **protection de l'environnement** » : pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement;
- « **efficacité économique** » : l'économie du Québec et de ses régions doit être performante, porteuse d'innovation et d'une prospérité économique favorable au progrès social et respectueuse de l'environnement;
- « **participation et engagement** » : la participation et l'engagement des citoyens et des groupes qui les représentent sont nécessaires pour définir une vision concertée du développement et assurer sa durabilité sur les plans environnemental, social et économique;
- « **accès au savoir** » : les mesures favorisant l'éducation, l'accès à l'information et la recherche doivent être encouragées de manière à stimuler l'innovation ainsi qu'à améliorer la sensibilisation et la participation effective du public à la mise en oeuvre du développement durable;
- « **subsidiarité** » : les pouvoirs et les responsabilités doivent être délégués au niveau approprié d'autorité. Une répartition adéquate des lieux de décision doit être recherchée, en ayant le souci de les rapprocher le plus possible des citoyens et des communautés concernées;
- « **partenariat et coopération intergouvernementale** » : les gouvernements doivent collaborer afin de rendre durable le développement sur les plans environnemental, social et économique. Les actions entreprises sur un territoire doivent prendre en considération leurs impacts à l'extérieur de celui-ci;
- « **prévention** » : en présence d'un risque connu, des actions de prévention, d'atténuation et de correction doivent être mises en place, en priorité à la source;
- « **précaution** » : lorsqu'il y a un risque de dommage grave ou irréversible, l'absence de certitude scientifique complète ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir une dégradation de l'environnement;
- « **protection du patrimoine culturel** » : le patrimoine culturel, constitué de biens, de lieux, de paysages, de traditions et de savoirs, reflète l'identité d'une société. Il transmet les valeurs de celle-ci de génération en génération et sa conservation favorise le caractère durable du développement. Il importe d'assurer son identification, sa protection et sa mise en valeur, en tenant compte des composantes de rareté et de fragilité qui le caractérisent;

⁶ (Gouvernement du Québec, 2007)

⁷ Lemieux, S. (2006). *Le Québec sur la voie du développement durable*. *Vecteur Environnement*, Septembre 2006 : pp. 10-12.

⁸ *Loi sur le développement durable*, Chapitre II, article 6.

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/developpement/principes.pdf>, consulté le 2011-05-03.

- « **préservation de la biodiversité** » : la diversité biologique rend des services inestimables et doit être conservée pour le bénéfice des générations actuelles et futures. Le maintien des espèces, des écosystèmes et des processus naturels qui entretiennent la vie est essentiel pour assurer la qualité de vie des citoyens;
- « **respect de la capacité de support des écosystèmes** » : les activités humaines doivent être respectueuses de la capacité de support des écosystèmes et en assurer la pérennité;
- « **production et consommation responsables** » : des changements doivent être apportés dans les modes de production et de consommation en vue de rendre ces dernières plus viables et plus responsables sur les plans social et environnemental, entre autres par l'adoption d'une approche d'écoefficience, qui évite le gaspillage et qui optimise l'utilisation des ressources;
- « **pollueur payeur** » : les personnes qui génèrent de la pollution ou dont les actions dégradent autrement l'environnement doivent assumer leur part des coûts des mesures de prévention, de réduction et de contrôle des atteintes à la qualité de l'environnement et de la lutte contre celles-ci;
- « **internalisation des coûts** » : la valeur des biens et des services doit refléter l'ensemble des coûts qu'ils occasionnent à la société durant tout leur cycle de vie, de leur conception jusqu'à leur consommation et leur disposition finale.

Remarques sur le concept de DD

La définition du DD du rapport Brundtland rappelle que l'objectif ultime de tout DD devrait être la satisfaction des besoins humains, à court et à long terme, en particulier les besoins de ceux qui sont plus démunis et qui sont en situation la plus précaire. Un lien est clairement établi entre cet objectif et notre milieu de vie, plus communément appelé environnement, de même qu'avec les pressions que nous exerçons sur cet environnement via notre mode de vie. Ce lien entre nos besoins, notre milieu de vie et notre mode de vie est fondamental et incontournable.

Il est important aussi de ne pas passer sous silence les critiques sur l'ambiguïté, les incertitudes et les dérives qui entourent le DD. Pour beaucoup, le DD est encore un mythe moderne aux contours flous (Allenby et al., 2009). C'est un concept difficile à appliquer, parce qu'interprété de bien des manières. Gagnon et Leduc (2009) ont ainsi répertorié plus de 200 principes de mise en œuvre qui ont été proposés.

Certains questionnent aussi la manière ou la nécessité de se développer⁹, et ce, même si la question de la qualité du développement est abordée dans le rapport Brundtland. D'autres s'irritent de la récupération politique et commerciale évidente, et de l'usage abusif ou du détournement du concept de DD comme l'éco-blanchiment ou le « green washing »¹⁰. Toutes ces inquiétudes ou ces réserves doivent être entendues, mais elles ne doivent pas cacher les problèmes et les défis qui sont bien réels. Cela renforce par contre le besoin d'information, de transparence et de concertation dans les démarches à entreprendre.

⁹ Jackson, T. (2009) *Prosperity without growth? The transition to a sustainable economy*. Édité par Sustainable Development Commission, 133 pages.

¹⁰ Peattie, K. and Crane, A. (2005). "Green Marketing: Legend, Myth, Farce or Prophecy?" *Qualitative Market Research: An International Journal*. 8(4) (2005) 357-370.

Les ingénieurs et le développement durable

« *Excellence technique et justice sociale* »

Bryce 2004, Dodds 2005

« *Responsabilité envers les pauvres et les futures générations* »

Mulder 2009

L'ingénierie, comme d'autres professions, est impliquée dans la mise en pratique des principes de DD. En fait, de nombreuses déclarations et un grand nombre de documents décrivent les liens entre la profession d'ingénieur et le DD (Gagnon et Leduc, 2009). Les principes de l'ingénierie durable (voir Tableau 3) font référence aux aspects environnementaux, économiques et sociaux du DD. On vise à responsabiliser les ingénieurs à des considérations éthiques, à renforcer leur capacité à travailler de manière interdisciplinaire, à renouveler les manières d'évaluer les coûts et bénéfices. On recherche l'équité. On insiste sur la complexité des problèmes à analyser, sur la prise en compte d'incertitudes et des limites dans les connaissances disponibles. Il faut noter que chez les différents auteurs, des considérations éthiques semblent primordiales pour transformer la profession vers plus de prise en compte des liens entre la pratique de l'ingénieur, des considérations environnementales, économiques, vers plus de progrès social.

Tableau 3. Principes d'ingénierie durable (Gagnon et Leduc, 2009)

	Reference	Comments
International	[A] International Federation of Consulting Engineers (FIDIC, 2000)	In a strategy article dedicated to <i>Sustainable Development in the Consulting Engineering Industry</i> , the FIDIC lists 18 objectives categorized along the environmental, economic, and social dimensions of sustainable development.
	[B] World Federation of Engineering Organizations (WFEO, 2004)	The WFEO adopted the <i>Shanghai Declaration on Engineering and Sustainable Development</i> , stating that engineers should take greater responsibility for shaping the sustainable future and must thus commit to: ethics, interdisciplinarity, education and capacity building, women and gender issues, international cooperation.
National	[C] Institution of Civil Engineers (ICE, 2003) (United Kingdom)	According to ICE, sustainable engineering solutions: strike an informed balance in terms of costs, benefits, sustainability and acceptability; fit within the broader legislative framework; involve an assessment of whole life cycle costs.
	[D] Institute of Professional Engineers of New Zealand (2004)	Sustainable development focuses on three principles: maintaining the viability of the planet, providing equity within and between generations, solving problems holistically. Those principles, which prove to be similar to the objectives adopted by Engineers Australia (2005), are detailed in 17 guidelines.
	[E] Instituto de la Ingenieria de Espana (IIE, 2005)	IIE's <i>Manifesto for Sustainable Development</i> contains 13 principles and explains how the principles can be applied when designing plans, programs, projects and works or when operating systems already in use.
	[F] The Royal Academy of Engineering (2005) (United Kingdom)	Twelve guiding principles are defined on the basis of case studies illustrating the issues connected to sustainable development in engineering. The document also illustrates how the principles can be applied during an engineering project.
	[G] Canadian Society for Civil Engineering (CSCE, 2006)	Civil engineering practice should follow nine guidelines: including sustainability in values, protecting and enhancing environment, considering true life cycle costs, adopting green construction, keeping informed on environmental issues, meeting basic human needs, providing leadership on sustainable development, including other professionals and stakeholders, continuously improving existing projects.
	[H] Engineers Canada (2006)	Engineers Canada adopted the <i>National Guideline on Environment and Sustainability</i> containing nine guidelines to help engineers fully implement their commitment to environmental protection and safeguarding public well-being.
Researchers	[I] Loucks and Gladwell (1999)	An exhaustive list of sustainability guidelines for water resource systems engineers was ordered along six main topics: design, management, and operation of physical infrastructure; environment and ecosystems; economics and finance; institutions and society; health and human welfare; planning and technology.
	[J] Clift and Morris (2002)	Engineers do not only have to find the best technical solution to a given problem, they should also consider whether: the most appropriate technology is being used, the uncertainty of science is factored in, waste and pollution are avoided while preserving resources, and whether social benefits and acceptance are maximized.
	[K] Anastas and Zimmerman (2003)	Green engineering has 12 principles: inherent rather than circumstantial; prevention instead of treatment; design for separation; maximize efficiency; output-pulled vs. input-pushed; conserve complexity; durability rather than immortality; meet need, minimize excess; minimize material diversity; integrate local material and energy; design for commercial afterlife; renewable rather than depleting.
	[L] Abraham (2006)	Generally speaking, sustainable engineering solutions are technologically and economically viable, they promote human welfare and health as well as the biosphere at large. The author proposes nine principles to detail this definition.
	[M] Fenner <i>et al.</i> (2006)	An eight-point framework complementing the conventional issues of cost, time, and quality is proposed: ethical foundation, future vision, interlinking scales, systems context, holistic financial accountability, maintenance of natural capital, efficient coordinated infrastructure, and justice through participation.

Dans le cadre des *Objectifs du Millénaire*, les Nations Unies soulignent le grand besoin de nouveaux ingénieurs dans les pays en voie de développement pour atteindre les objectifs du DD¹¹. De manière plus large, la place des ingénieurs dans le DD est bien résumée par le *Center for Sustainable Engineering*¹² :

« As the world population grows and global standards of living rise, there are increasing demands on the world's resources and capacity to assimilate wastes. Engineers are tasked with accommodating the needs of increasing numbers of people and improving living conditions, and thus they are at the forefront of making decisions that will have long-term implications for the planet. Given the finite capacity of the earth, it is recognized that engineers of the future must be trained to make decisions in such a way that our environment is preserved, social justice is promoted, and the needs of all people are provided through the global economy. »

On souligne une fois encore l'importance de croiser des considérations de justice sociale, de préservation du milieu, dans une économie globale. Dans son *Code d'éthique* de 2001, la Fédération Mondiale des Organisations d'Ingénieurs (World Federation of Engineering Organizations, WFEO) définit les obligations des ingénieurs en matière de DD et d'environnement de la manière suivante:

« Sustainable Development & Environment

- *Engineers shall strive to enhance the quality of the biophysical and socio-economic urban environment and of buildings and spaces, and to promote the principles of sustainable development.*
- *Engineers shall seek opportunities to work for the enhancement of safety, health, and the social welfare of both their local community and the global community through the practice of sustainable development.*
- *Engineers whose recommendations are overruled or ignored on issues of safety, health, welfare, or sustainable development, shall inform their contractor or employer of the possible consequences. »*

Ingénieurs Canada, qui est l'organisme national regroupant les 12 ordres provinciaux et territoriaux qui réglementent l'exercice du génie au Canada, a publié en 2006 un *Guide national sur l'environnement et le développement durable* (Ingénieurs Canada, 2006). Dans ce guide, il est rappelé que les ingénieurs doivent s'employer à protéger l'environnement et à sauvegarder le bien-être du public. Ce guide contient aussi une série de 9 obligations des ingénieurs envers l'environnement et le DD. Les ingénieurs:

1. *Devraient développer et maintenir un niveau raisonnable de connaissance et de conscience des questions environnementales, ainsi qu'un système de surveillance des questions portant sur l'environnement et le développement durable liées à leur domaine d'expertise.*
2. *Devraient avoir recours à l'expertise adéquate de spécialistes dans des domaines où la connaissance de l'ingénieur seule n'est pas suffisante pour régler les questions portant sur l'environnement et le développement durable.*

¹¹ *Juma et Yee-Cheong (2005) Innovation: applying knowledge in development. UN Millenium Project, Task Force on Science, Technology and Innovation.*

¹² www.csengin.org consulté le 13 juin 2011

3. *Devraient faire preuve de jugement professionnel et responsable dans leurs considérations sur l'environnement et le développement durable.*
4. *Devraient s'assurer que la planification et la gestion sont intégrées à toutes leurs activités susceptibles d'avoir des effets néfastes.*
5. *Devraient inclure les coûts liés à la protection de l'environnement parmi les facteurs essentiels utilisés pour l'évaluation de la viabilité économique des projets dont ils sont responsables.*
6. *Devraient reconnaître la valeur de l'éco-efficacité et du développement durable, tenir compte de toute l'étude du cycle de vie pour déterminer les coûts et avantages d'une meilleure intendance environnementale et s'efforcer d'appliquer des solutions durables et efficaces.*
7. *Devraient encourager et solliciter la participation ouverte des intervenants et s'efforcer de répondre aux préoccupations environnementales dans des délais raisonnables.*
8. *Devraient se conformer aux exigences réglementaires et s'efforcer de les dépasser ou de les améliorer en essayant d'appliquer les procédures et technologies les meilleures et les plus rentables qui sont disponibles; devraient divulguer aux autorités compétentes l'information nécessaire pour assurer la protection de la sécurité publique.*
9. *Devraient travailler activement avec des tiers à une meilleure compréhension de l'environnement et du développement durable et à l'élaboration de meilleures pratiques en la matière. »*

En fait de nombreux ingénieurs à travers le monde appellent une évolution de la profession et du rôle de l'ingénieur¹³. Cela se traduit par l'émergence de l'ingénierie durable qui prend différentes formes et dénominations : « sustainable engineering », « green engineering », « industrial ecology », éco-ingénierie, conception durable, etc. L'ingénierie durable peut être considérée comme une nouvelle façon de pratiquer l'ingénierie en y intégrant les principes de DD¹⁴.

Anastas et Zimmerman (2003) proposent 12 principes pour le « Green Engineering » qui sont plus à caractère technique et qui visent essentiellement la protection de l'environnement:

- « 1. *Designers need to strive to ensure that all material and energy inputs and outputs are as inherently nonhazardous as possible.*
2. *It is better to prevent waste than to treat or clean up waste after it is formed.*
3. *Separation and purification operations should be designed to minimize energy consumption and materials use.*
4. *Products, processes, and systems should be designed to maximize mass, energy, space, and time efficiency.*
5. *Products, processes, and systems should be “output pulled” rather than “input pushed” through the use of energy and materials.*
6. *Embedded entropy and complexity must be viewed as an investment when making design choices on recycle, reuse, or beneficial disposition.*

¹³ Cruickshank, H. (2003), *The changing role of engineers*, Eng. Management, février, p. 24-29.

¹⁴ *Revue Plan des ingénieurs du Québec, Ordre des ingénieurs du Québec, No de février 2010.*

7. *Targeted durability, not immortality, should be a design goal.*
8. *Design for unnecessary capacity or capability (e.g., "one size fits all") solutions should be considered a design flaw.*
9. *Material diversity in multi-component products should be minimized to promote disassembly and value retention.*
10. *Design of products, processes, and systems must include integration and interconnectivity with available energy and materials flows.*
11. *Products, processes, and systems should be designed for performance in a commercial "afterlife".*
12. *Material and energy inputs should be renewable rather than depleting. »*

Dans une étude réalisée pour la *Royal Academy of Engineering* de Grande-Bretagne, Dodds & Venables (2005) définissent 12 principes qui devraient guider les ingénieurs dans la poursuite du DD et qui sont de nature plus globale que celles d'Anastas et Zimmerman (2003):

- « 1. *Look beyond your own locality and the immediate future*
2. *Innovate and be creative*
3. *Seek a balanced solution*
4. *Seek engagement from all stakeholders*
5. *Make sure you know the needs and wants*
6. *Plan and manage effectively*
7. *Give sustainability the benefit of any doubt*
8. *If polluters must pollute... then they must pay as well*
9. *Adopt a holistic, 'cradle-to-grave' approach*
10. *Do things right, having decided on the right thing to do*
11. *Beware cost reductions that masquerade as value engineering*
12. *Practice what you preach. »*

Ces principes font ressortir une approche élargie dans la résolution de problèmes qui sont posés aux ingénieurs. Cela est aussi mis de l'avant par Cushman-Roisin (2009) dans sa comparaison de l'ingénierie traditionnelle et de l'ingénierie durable (Voir le Tableau 5). Comme Allenby et al. (2009), il fait également ressortir l'importance d'avoir une approche systémique.

Tableau 4. Comparaison de l'ingénierie traditionnelle et de l'ingénierie durable Cushman-Roisin (2009)

Traditional Engineering :	Sustainable Engineering :
Considers the <i>object</i>	Considers the <i>system</i> in which the object will be used.
Focuses on technical issues	Integrates technical and non-technical issues
Solves the immediate problem (<i>now</i>)	Strives to solve the problem for the indefinite future (<i>for ever</i>)
Considers the local context (<i>user</i>)	Considers the global context (<i>planet</i>)
Assumes others will deal with politics, ethics & societal issues.	Acknowledges the need for engineers to interact with experts in other disciplines related to the problem.

Au-delà de la recherche de solutions équilibrées (des points de vue technique, économique, environnemental et social), l'ingénierie durable requiert donc la capacité de traiter les problèmes en fonction de leur mise en contexte et en croisant différentes disciplines de référence, une adaptabilité et une flexibilité et la prise en compte du principe de précaution. Elle favorise également les approches cycle de vie. Dans tous les cas, un élément est souligné : il s'agit de la gestion participative et de l'inclusion de toutes les parties prenantes dans les processus de décision.

Ceci implique un changement dans une des tâches les plus importantes des ingénieurs, à savoir la conception de produits, ouvrages, procédés ou services. Le processus traditionnel de conception qui est linéaire, tend à être remplacé par l'ingénierie simultanée (« Concurrent engineering ») qui préconise un processus de conception qui fait intervenir une équipe multifonctionnelle et dont certaines étapes sont réalisées simultanément plutôt que séquentiellement. Cette approche favorise grandement la participation de l'ensemble des acteurs impliqués tout au long du projet. Ainsi, d'après Gagnon et Leduc¹⁵, la conception durable peut être considérée comme une extension de l'ingénierie simultanée, mais avec des objectifs qui dépassent la simple augmentation de productivité ou d'efficacité.

Cette intégration/implication d'autres acteurs tout au long du processus d'élaboration d'un produit, d'un ouvrage ou d'un service représente un grand défi en ingénierie qui a eu tendance, comme bien d'autres professions à se compartimenter et à s'isoler avec le temps. Historiquement, il n'y a pas toujours eu de limites entre les différentes disciplines, mais à partir de la révolution industrielle, les limites entre les professions sont devenues plus fortes menant à la spécialisation. Cette dernière a nettement augmenté au 20^e siècle avec la diversification et la complexification de la conception en ingénierie. Tout cela a amené

¹⁵ Gagnon, B., Leduc, R. (2006) *Prise en compte des principes de développement durable en ingénierie. Vecteur Environnement. Septembre 2006.*

une fragmentation à l'intérieur des professions,¹⁶ mais aussi à l'intérieur de l'enseignement de l'ingénierie.

Or, les ingénieurs sont de plus en plus amenés à travailler et interagir avec une grande diversité d'intervenants ou d'acteurs. Cela est particulièrement évident dans des secteurs comme la protection de l'environnement, mais est aussi vrai dans les autres secteurs dans la mesure où il y a une recherche de solution durable. L'aptitude à écouter, comprendre, collaborer, interagir, trouver des consensus et développer de nouvelles solutions ou approches avec des intervenants d'autres disciplines et avec les parties prenantes paraît donc un enjeu incontournable et important de l'ingénierie durable.

En parallèle avec l'émergence d'une nouvelle manière de pratiquer l'ingénierie, une réflexion sur le rôle des ingénieurs a lieu, en particulier sur leur rôle social. Si pendant longtemps les ingénieurs se sont considérés comme des instruments du progrès (Newberry, 2007), l'intégration du DD amène les ingénieurs à être des acteurs du progrès, avec toutes les responsabilités face aux conséquences de leurs actes et les implications dans la société que cela implique.

De façon générale, c'est la globalité du concept de DD qui entraîne, du côté du génie, une complexification de la pratique, des problèmes rencontrés, des défis. Concrètement, pour les ingénieurs il s'agit de « résoudre des problèmes complexes qui ne se limitent pas à résoudre un problème technique isolé, mais également à considérer des questions sociales et des systèmes plus larges aux limites plus ou moins bien définies. » (Lehmann, 2008).

Formation en ingénierie au Canada

Au Canada, Ingénieurs Canada (www.engineerscanada.ca) agréé les programmes universitaires de premier cycle en ingénierie. C'est le BCAPG, qui a comme mandat de donner ou de renouveler les agréments aux programmes d'ingénierie pour des durées allant de 1 à 6 ans. Ces agréments permettent aux diplômés de ces programmes d'avoir un accès direct aux ordres professionnels et donc d'exercer la profession d'ingénieur. Au Québec, l'obtention d'un diplôme de génie agréé permet de devenir membre de l'Ordre des Ingénieurs du Québec (OIQ). Le processus d'obtention ou de renouvellement d'un agrément est lourd.

Depuis tout près de 40 ans les programmes de Génie au Canada sont évalués sur les moyens mis en œuvre pour former les diplômés :

- quantité et qualité d'activité d'apprentissage (cours magistraux, laboratoires, travaux dirigés, etc.) suivant différents types de connaissance (mathématiques, science du génie, conception en ingénierie, etc.);
- qualité des évaluations des apprentissages (sévérité, équité, rétroaction aux étudiants, etc.);

¹⁶ Vallero, D., Brasier, C. (2008) *Sustainable design - The science of sustainability and green engineering*, John Wiley.

- qualification (appartenance à un ordre professionnel d'ingénieur canadien) et compétences des professeurs et des chargés d'enseignement;
- adéquation et qualité du soutien administratif et technique;
- infrastructures (bibliothèques, salles de cours, laboratoires, etc.) et ressources matérielles disponibles;
- degré de satisfaction des étudiants;
- etc.

Un programme est jugé adéquat si le cumul de ces éléments est suffisant. Il y a notamment un système de quantification de l'enseignement qui comptabilise les activités d'enseignement en termes d'unité d'agrément (UA), ces dernières étant essentiellement fonction des durées des apprentissages en classe et accordant un fort avantage à l'enseignement magistral. Les compétences attendues des diplômés ne sont pas vraiment évaluées dans ce type d'agrément.

Suite à des accords internationaux pour augmenter la mobilité des étudiants d'un pays à un autre¹⁷, les normes canadiennes d'agrément des programmes d'ingénierie ont été modifiées en 2009 et vont être mises en place progressivement d'ici 2014. Ces exigences portent sur les qualités attendues des diplômés en ingénierie. De nombreux éléments des définitions des 12 qualités attendues¹⁸ font référence à la formation au DD (passages surlignés en gris ci-dessous) tel que cela est montré dans la suite du rapport :

« 3.1 Qualités requises des diplômés¹⁹ »

L'établissement d'enseignement doit démontrer que les diplômés d'un programme possèdent les qualités requises décrites ci-après. Ces qualités doivent être interprétées dans le contexte de candidats qui viennent de terminer leurs études. Il est reconnu que les diplômés continueront de développer les assises que leur formation en génie leur a permis d'acquérir.

3.1.1 Connaissances en génie : connaissance, à un niveau universitaire, des mathématiques, des sciences naturelles et des notions fondamentales de l'ingénierie, ainsi qu'une spécialisation en génie propre au programme.

3.1.2 Analyse de problèmes : capacité d'utiliser les connaissances et les principes appropriés pour identifier, formuler, analyser et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes et en arriver à des conclusions étayées.

3.1.3 Investigation : capacité d'étudier des problèmes complexes au moyen de méthodes mettant en jeu la réalisation d'expériences, l'analyse et l'interprétation des données et la synthèse de l'information afin de formuler des conclusions valides.

¹⁷ International Engineering Alliance (2009). Graduate Attributes and Professional Competencies. Version 2 - 18 June 2009.

¹⁸ http://www.engineerscanada.ca/e/files/Accreditation_Criteria_Procedures_2010.pdf, pp.12-13, consulté le 2011-05-03

¹⁹ Bien que l'on s'attende à ce que les programmes démontrent, preuve à l'appui, qu'ils respectent cette norme, une période de transition et d'élaboration sera autorisée. Aucune lacune à l'égard de cette norme ne sera relevée avant 2014 (soit pendant un cycle complet d'agrément).

3.1.4 Conception : capacité de concevoir des solutions à des problèmes d'ingénierie complexes et évolutifs et de concevoir des systèmes, des composants ou des processus qui répondent aux besoins spécifiés, tout en tenant compte des risques pour la santé et la sécurité publiques, des aspects législatifs et réglementaires, ainsi que des incidences économiques, environnementales, culturelles et sociales.

3.1.5 Utilisation d'outils d'ingénierie : capacité de créer et de sélectionner des techniques, des ressources et des outils d'ingénierie modernes et de les appliquer, de les adapter et de les étendre à un éventail d'activités simples ou complexes, tout en comprenant les contraintes connexes.

3.1.6 Travail individuel et en équipe : capacité de fonctionner efficacement en tant que membre ou chef d'équipe, de préférence dans un contexte de travail multidisciplinaire.

3.1.7 Communication : habileté à communiquer efficacement des concepts d'ingénierie complexes, au sein de la profession et au public en général, notamment lire, rédiger, parler et écouter, comprendre et rédiger de façon efficace des rapports et de la documentation pour la conception, ainsi qu'énoncer des directives claires et y donner suite.

3.1.8 Professionnalisme : compréhension des rôles et des responsabilités de l'ingénieur dans la société, y compris le rôle essentiel de protection du public et l'intérêt public.

3.1.9 Impact du génie sur la société et l'environnement : capacité à analyser les aspects sociaux et environnementaux des activités liées au génie, notamment comprendre les interactions du génie avec les aspects économiques et sociaux, la santé, la sécurité, les lois et la culture de la société; les incertitudes liées à la prévision de telles interactions; et les concepts de développement durable et de bonne gestion de l'environnement.

3.1.10 Déontologie et équité : compréhension et respect des principes d'éthique et de responsabilité professionnelles, ainsi que d'équité.

3.1.11 Économie et gestion de projets : capacité à intégrer de façon appropriée les pratiques d'économie et d'affaires, comme la gestion de projets, des risques et du changement, dans l'exercice du génie, et de bien tenir compte des contraintes associées à ces pratiques.

3.1.12 Apprentissage continu : capacité à cerner et à combler ses propres besoins de formation dans un monde en constante évolution, et ce, de façon à maintenir sa compétence et à contribuer à l'avancement des connaissances. »

Il revient maintenant aux responsables de programmes d'enseignement de définir les compétences spécifiques à développer, quels moyens pédagogiques sont pris pour développer ces compétences et comment on vérifie que ces compétences sont bien acquises par les diplômés. Cela représente donc un changement majeur dans la manière d'enseigner et d'évaluer l'enseignement. C'est aussi l'occasion d'introduire et d'intégrer dans les programmes des outils d'application des principes d'ingénierie durable.

2 Objectifs de l'étude

Compte tenu de l'émergence du DD en ingénierie à travers le monde, de l'évolution des normes d'évaluation des programmes d'ingénierie au Canada, du grand nombre de programmes en ingénierie à l'UL, de la volonté de l'UL de faire du DD une priorité institutionnelle, de l'obligation réglementaire d'initier tous les étudiants de 1^{er} cycle de l'UL au DD, il nous a semblé important de rassembler des connaissances et des expériences pertinentes en matière d'enseignement du DD en ingénierie pour supporter l'intégration du DD dans les programmes de 1^{er} cycle en ingénierie de l'UL. Nous proposons donc ici un état des connaissances de l'enseignement du DD en ingénierie (revue de littérature). De plus, à partir des informations collectées, nous élaborons une liste de recommandations et de stratégies d'intervention pour l'enseignement du DD en ingénierie.

Les informations recueillies et les suggestions qui seront faites visent en premier lieu les professeurs et étudiants des programmes d'ingénierie, mais nous anticipons qu'elles pourraient être, en bonne partie, utilisées par les professeurs et pour les étudiants d'autres programmes.

3 Méthodologie de l'étude

Revue de littérature

La collecte d'information sur les pratiques d'intégration du DD dans l'enseignement de l'ingénierie a été faite par une revue bibliographique essentiellement dans des revues scientifiques et par une recherche sur Internet. Les principaux journaux en éducation et/ou en ingénierie et/ou en DD qui ont été consultés sont les suivants (non exhaustif):

- International Journal of Sustainability in Higher education
- European Journal of Engineering Education
- International Journal of Engineering Education
- Journal of Cleaner Production
- Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice
- International Journal of Sustainable Engineering
- Journal of Education for Sustainable Development
- Sustainability Science
- Sustainability: The Journal of Record

Les principaux mots clés utilisés pour la recherche sont : « engineering », ingénierie, « sustainable development », développement durable, « higher education », enseignement supérieur.

Même si la présente recherche est loin d'être exhaustive tant le sujet est riche, un grand nombre d'articles et de rapports a été trouvé. Par manque de temps et d'espace dans le rapport, tous ces articles et ces rapports ne seront pas discutés. Nous en présenterons plutôt une synthèse. Au-delà de la synthèse bibliographique qui sera présentée ci-dessous, une sélection d'articles de recherche a été analysée plus en détail. Celle-ci a été réalisée avec le souci de représenter la diversité des tendances de la recherche et non dans le but d'être exhaustif étant donné l'ampleur limitée du projet.

Pour faciliter la réalisation de cette analyse, une grille de lecture fut utilisée. Elle comprend 5 éléments :

1. *principes* mis en œuvre;
2. *objectifs d'enseignement*, c'est-à-dire les compétences, les connaissances et les attitudes qui sont visées pour que les diplômés en ingénierie puissent intégrer les principes du DD dans la pratique de leur profession;
3. *moyens, outils et stratégies d'enseignement* employés ou testés;

4. ***description des protocoles de recherche*** (dans le cas d'articles relatant une étude empirique);
5. ***principaux résultats et principales conclusions*** incluant les facteurs de succès et les freins à l'implantation du DD dans les programmes d'enseignement d'ingénierie.

En faisant la recherche bibliographique, nous avons également identifié des organisations particulièrement impliquées à travers le monde dans la formation au DD des élèves ingénieurs. Cela a été également l'occasion de cibler des conférences dédiées en partie ou en totalité à l'enseignement du DD en ingénierie. Là encore, nous n'avons pas la prétention d'avoir fait un recensement exhaustif.

4 Enseignement du DD en ingénierie : revue de littérature

« *Promoting Peace* »

Catalano 2006

« *Engineers against Poverty* »

Feest 2008

Cette section débute par la présentation des organisations et conférences qui ont été recensées. Puis nous vous proposons une synthèse bibliographique présentée en partie sous forme d'un graphique qui reprend les contenus importants repérés dans les références bibliographiques. Et suit enfin l'analyse plus détaillée de quelques articles choisis sur les principales stratégies éducatives mises à l'essai et évaluées.

4.1 Organisations, institutions et conférences notables

Nous avons recensé quelques organisations très actives en matière d'intégration du DD dans l'enseignement en ingénierie:

- Center for Sustainable Engineering (CSE; www.csengin.org)
- The Natural Edge Project (NEP; www.naturaledgeproject.net)
- Conceive-Design-Implement-Operate (CDIO; www.cdio.org)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE; www.ieee.org)
- Practice, Education and Research for Sustainable Infrastructure – PERSI (www.asce.org)
- International Society for Industrial Ecology (ISIE, www.is4ie.org)

Le CSE est un partenariat entre 5 universités américaines :

- Syracuse University (lead institution)
- Arizona State University
- Carnegie-Mellon University
- Georgia Institute of Technology
- University of Texas at Austin

Cet organisme est supporté financièrement par la *National Science Foundation* et par la *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). Le but du CSE est de développer et de réaliser des activités pour améliorer l'enseignement de l'ingénierie durable (« Sustainable Engineering ») dans les collèges et les universités à travers le monde. Cela est fait grâce à des ateliers, des séances de formation et un site Internet qui contient du matériel pédagogique qui est révisé par des pairs. Des dizaines d'activités

pédagogiques sont ainsi disponibles en ligne via le site de cet organisme²⁰. Une large enquête sur l'enseignement du DD dans les programmes d'ingénierie aux États-Unis a également été réalisée (Allenby et al., 2009). Les résultats de cette enquête sont discutés brièvement dans la section suivante.

Le NEP est un partenariat pour l'éducation, la recherche et la gouvernance en matière d'innovation en DD. Les membres de cette organisation sont essentiellement australiens, incluant plusieurs universités australiennes et *The Institution of Engineers Australia*. Le NET est supporté par l'UNESCO et la *Society for Sustainability & Environmental Engineering* (www.engineersaustralia.org.au) qui est une société faisant partie de *Engineers Australia*. Le site Internet de cette organisation contient du matériel pédagogique en matière d'enseignement du DD en ingénierie. De plus, le NEP édite des livres, et organise des conférences, des ateliers et des séances de formation.

Le CDIO a été fondé par le *Massachusetts Institute of Technology* à la fin des années 1990. Depuis 2000, c'est devenu une collaboration internationale regroupant des formations d'ingénieurs du monde entier, adoptant le même cadre de formation. Cela porte entre autres sur l'introduction du DD dans les programmes d'ingénierie. Le CDIO organise des conférences telle que la *6th International CDIO Conference 2010* (www.cdio.org/meetings-events/2010-international-cdio-conference), tenue en juin 2010 à l'École Polytechnique de Montréal qui fait partie de cette organisation. Le thème de la conférence était « *Making Change Last: Sustaining and Globalizing Engineering Educational Reform* ».

L'IEEE est une très grande organisation professionnelle dans le domaine de la technologie. Depuis 18 ans, l'IEEE organise des conférences sur l'ingénierie durable. En mai 2011 a eu lieu la conférence « *2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)* » à Chicago aux États-Unis (www.ieee-issst.org). Une section de cette conférence a porté spécifiquement sur la formation en ingénierie durable (« *Sustainable Engineering Education* »).

Le PERSI, qui est issu de *l'American Society of Civil Engineers* (ASCE) et qui a été fondé en 2006, regroupe différentes organisations américaines d'ingénieurs, de designers, de planificateurs et d'architectes. Sa vocation est d'intégrer les principes et les connaissances de l'ingénierie durable dans les pratiques des ingénieurs et d'autres professionnels. Un des objectifs est d'aider les programmes d'éducation en ingénierie à intégrer la durabilité des infrastructures dans la formation des étudiants.

L'ISIE est une organisation internationale qui fait la promotion de l'écologie industrielle pour faciliter la résolution de problèmes environnementaux complexes et la communication entre les professionnels impliqués dans la résolution de ces problèmes. L'ISIE fait aussi la promotion de l'écologie industrielle dans l'éducation notamment en organisant une conférence biannuelle dont la plus récente vient d'avoir lieu en juin 2011 à Berkeley aux États-Unis (<http://isie2011.berkeley.edu>).

²⁰ www.engineeringpathway.com; choisir «Higher Ed» et cocher la case pour le CSE dans la liste des collections spécifiques

En Europe, trois universités ressortent comme des institutions pionnières :

- Chalmers University of Technology (www.chalmers.se/en)
- Delft University of Technology (www.tudelft.nl)
- University of Barcelona (www.ub.edu/web/ub/en)

La Chalmers University of Technology a organisé entre autres en septembre 2010 à Göteborg en Suède la conférence « *Engineering Education in Sustainable Development Conferences EESD 2010* » (<http://eesd10.org>) qui était la 5e du genre. Il s'agit d'une conférence biannuelle qui porte sur tous les aspects de l'enseignement du DD en ingénierie.

À noter aussi que l'*Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education* (AASHE; www.aashe.org) est une organisation non spécialisée dans le domaine de l'ingénierie, mais qui comprend de nombreuses institutions académiques qui œuvrent dans ce domaine. Plusieurs centaines d'universités américaines font partie de cette organisation de même que 3 universités canadiennes dont 2 universités du Québec qui ont des programmes en ingénierie (Concordia University, McGill University). L'AASHE organise une conférence annuelle, des ateliers et édite plusieurs publications en rapport avec l'enseignement du DD au niveau universitaire.

Enfin, l'initiative « Verdir le diplôme d'architecture au Canada » (« Greening the Architecture Curriculum in Canada »; www.arclab.umontreal.ca/greening-verdir) est un bon exemple dans un autre domaine (architecture) d'un réseautage canadien en matière d'introduction du DD dans les programmes d'enseignement.

4.2 Synthèse de la revue de littérature

« Le développement durable concerne autant les valeurs et l'éthique que la science et la technologie. »

« Une transformation des pensées, des valeurs et des actions est requise pour un progrès vers le développement durable. »

McLaughlan, 2007

Le défi de la synthèse interdisciplinaire du rapport

L'élaboration de ce rapport a été confrontée à un défi non négligeable, soit celui de proposer une synthèse interdisciplinaire concernant la formation en ingénierie et les préoccupations de chercheurs en sciences de l'éducation. Cet exercice n'a pas été simple étant donné que chaque discipline tend à avoir ses propres codes, intérêts et façons d'aborder les problèmes. La recherche, consistant en la recension de publications de recherche dans les revues internationales nous a conduit à un très large éventail de thèmes couverts par le sujet de l'enseignement du DD en ingénierie. Autrement dit, bien des initiatives existent déjà qui sont implantées dans les formations en génie.

Certains écrits sont ancrés dans les préoccupations des ingénieurs, qu'ils soient praticiens ou enseignants, d'autres traduisent les préoccupations de chercheurs en éducation et d'autres encore, traitent des préoccupations des décideurs des institutions universitaires. Une liste des documents qui ont été trouvés figure à la fin du rapport. Ces documents sont classés à l'aide d'un code qui permet de savoir quels thèmes ou préoccupations sont abordés dans chaque article.

Carte conceptuelle

Devant la diversité des publications trouvées, la réalisation d'une carte conceptuelle des principaux thèmes rencontrés a été un exercice intéressant. (Voir Figure 1) Cette carte conceptuelle tente de rendre compte visuellement de l'inventaire des principales préoccupations sur le sujet de la formation au DD en ingénierie, et de faire ressortir des éléments à retenir parmi un ensemble très vaste de références bibliographiques variées. Cette carte est structurée en 5 thèmes :

- Les principes directeurs (1 & 2)
- Les tentatives de renouvellement des formations en ingénierie (3)
- Les stratégies pédagogiques et leur évaluation (4)
- Les processus de prise de décision en ingénierie (5)

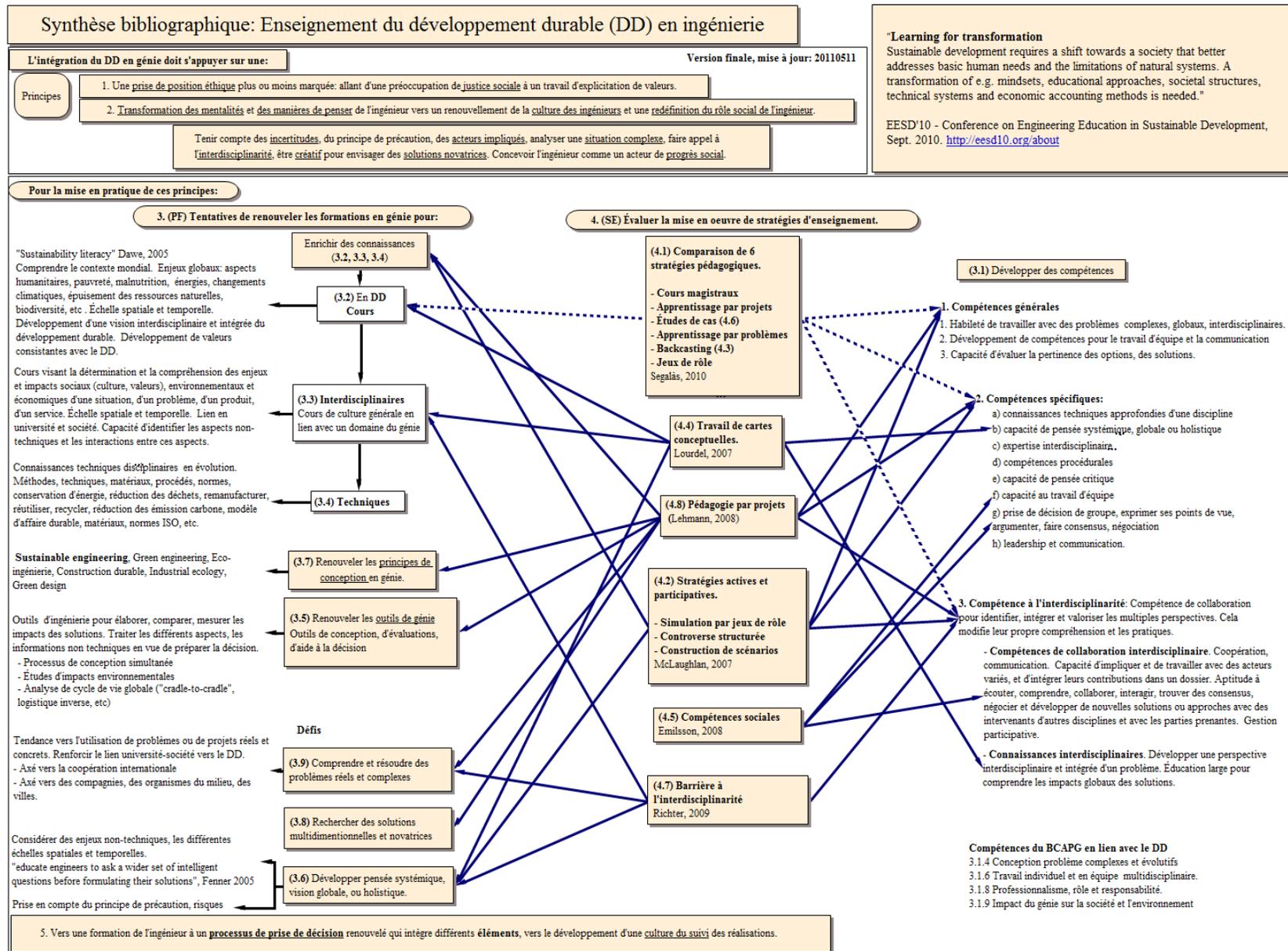


Figure 1. Synthèse bibliographique présentée sous la forme d'une carte conceptuelle

Explicitement, pour un ingénieur ou un étudiant en ingénierie, il est donc important de comprendre ce qui est entendu par « développement durable » dans le contexte de l'ingénierie, puis de bien cerner quels sont les aspects de la pratique de l'ingénieur en mutation en raison du DD. Cet enrichissement de la formation s'appuie donc sur des principes, des connaissances, un renouvellement des outils à la disposition de l'ingénieur et un enrichissement des compétences professionnelles vers un renouvellement du rôle social de l'ingénieur en fonction de valeurs et de principes éthiques (sections 3, 1 et 2).

D'autre part, pour un chercheur en éducation et pour un professeur en ingénierie préoccupé par la formation des futurs ingénieurs au DD, étudier l'enseignement au DD en génie consiste à se préoccuper (sections 1,2, 4 et 5) :

- de principes éthiques et de valeurs que les ingénieurs associent au DD, et des manières de les inclure dans leur formation,
- des objectifs pédagogiques et didactiques, de l'enrichissement des connaissances, du développement des compétences et des attitudes complémentaires identifiées comme nécessaires,
- des stratégies d'enseignement pour parvenir au développement de ces connaissances et compétences et de leur mise à l'essai.

Finalement, pour les décideurs universitaires, les préoccupations se tournent vers ce qui se fait ailleurs en termes de programmes, de propositions de cours et d'organisation du changement. Ces aspects, qui touchent les décideurs, n'apparaissent pas dans la carte conceptuelle. Ils sont présentés dans la section précédente (« Organisations, institutions et conférences notables ») et discutés à la fin de la présente section.

Éléments complémentaires

Différents éléments complémentaires, qui ressortent de la synthèse bibliographique, méritent d'être discutés. Sur le plan des fondements de la formation, on ne peut négliger la prise en compte de considérations éthiques qui devraient être explicites dans la formation, allant jusqu'à inclure des préoccupations de justice sociale dans l'analyse et la prise de décision de l'ingénieur. Un travail de clarification de valeurs peut être mis de l'avant dans ce sens. On insiste également sur un changement de culture des ingénieurs, sur un renouvellement des manières de penser, afin que les ingénieurs soient de véritables acteurs et moteurs de progrès social (Newberry, 2007), travaillant dans un esprit de collaboration réelle et d'ouverture aux prises de position d'acteurs divers, y compris celles de la société civile, impliqués dans les situations concrètes qu'ils traitent. On reconnaît également les incertitudes et les risques associés forcément à l'implantation réelle de procédés techniques. Il est régulièrement question de former les ingénieurs à l'analyse de problèmes réels et complexes, vers une culture du suivi continu des innovations et des techniques. Un souci particulier est de développer une capacité à se représenter les problématiques de manière interdisciplinaire, vers un processus de conception renouvelé qui intègre de nouveaux acteurs. Il s'agit d'habiliter les ingénieurs à se donner des représentations plus riches tenant compte des contextes réels d'implantation et de développement.

Tout cela traduit en fait une révision des compétences qui devraient être visées dans les programmes de formation en ingénierie. En effet, au-delà des compétences traditionnelles (voir le chapitre 1), de nouvelles compétences associées au DD sont mentionnées dans la littérature. Celles-ci sont résumées au Tableau 5.

Tableau 5. Compétences associées au DD

Défis des futurs ingénieurs		
Comprendre et résoudre des problèmes réels et complexes	Développer une pensée systémique, une vision globale ou holistique.	Rechercher des solutions multidimensionnelles et novatrices.
Compétences à développer²¹		
Compétences générales	Compétences spécifiques:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Habilité de travailler avec des problèmes complexes, globaux, interdisciplinaires. 2. Développement de compétences pour le travail d'équipe et la communication. 3. 3. Capacité d'évaluer la pertinence des options, des solutions. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. connaissances techniques approfondies d'une discipline 2. capacité de pensée systémique, globale ou holistique 3. expertise interdisciplinaire 4. compétences procédurales 5. capacité de pensée critique 6. capacité au travail d'équipe 7. prise de décision de groupe, exprimer ses points de vue, argumenter, faire consensus, négociation 8. leadership et communication. 	
Compétence à l'interdisciplinarité		
<p>Compétence de collaboration pour identifier, intégrer et valoriser les multiples perspectives, et pour apprendre les uns des autres de façon que cela modifie leur propre compréhension et pratiques. (Richter 2009)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Compétences de collaboration interdisciplinaire.</u> Coopération, communication. Capacité d'impliquer et de travailler avec des acteurs variés, et d'intégrer leurs contributions dans un dossier. Aptitude à écouter, comprendre, collaborer, interagir, trouver des consensus, négocier et développer de nouvelles solutions ou approches avec des intervenants d'autres disciplines et avec les parties prenantes. Gestion participative. (Lehmann 2008) • <u>Connaissances interdisciplinaires.</u> Développer une perspective interdisciplinaire et intégrée d'un problème. Éducation large pour comprendre les impacts globaux des solutions. (Richter 2009, Lehmann 2008) 		

Afin de développer ces compétences, différentes stratégies pédagogiques sont proposées dans la littérature. Les principales stratégies éducatives qui ont été répertoriées dans la littérature sont présentées au Tableau 6.

²¹ Fenner et al., 2005, p.231

Tableau 6. Stratégies pédagogiques pour développer des compétences en DD

Stratégies d'enseignement	Compétences ciblées.
Pédagogie par projets Lehmann (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Résolution de problèmes techniques. • Savoir composer avec des problèmes réels, complexes, globaux et interdisciplinaires. Analyser. • Développement de connaissances interdisciplinaires et contextualisées. • Capacité de déterminer les aspects non techniques des problèmes, les interactions entre ces aspects et les solutions possibles. Évaluer les impacts. • Compétences interdisciplinaires de collaboration, de communication (écrites et orales). • Compétences procédurales. (gestion de projets et d'apprentissage continue dans divers cadres sociaux, culturels et globaux.) • Créativité dans la recherche de solutions multidimensionnelles
Travail de cartes conceptuelles Lourdel (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Développer une vision interdisciplinaire et intégrée du DD. (outil de représentation)
Stratégies actives et participatives <ul style="list-style-type: none"> • Simulation par jeux de rôle • Controverse structurée • Construction de scénarios McLaughlan (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier et comprendre les différentes dimensions pour une prise de décision dans un contexte de conflit. Identifier les sources potentielles de conflit, les valeurs en jeu. • Représentation : capacité de regarder une situation sous différentes perspectives. Apprécier la diversité des approches. • Délibération : pour tenter de faire consensus. • Amorcer le développement d'une perspective intégrée et interdisciplinaire du DD. (Réflexions personnelles) • Aptitude au travail d'équipe, prise de décision participative, leadership, communication, négociation. • Capacité de pensée systémique. Intégrer. • Pensée critique. • Connaissances disciplinaires • Connaissances interdisciplinaires (ex. via les organisations)
Comparaison de 6 stratégies pédagogiques - Segalàs (2010) <ul style="list-style-type: none"> • Cours magistraux • Apprentissage par projets • Études de cas • Apprentissage par problèmes • « Backcasting » • Jeux de rôle 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de pensée critique et systémique • Habilité pour travailler avec un cadre transdisciplinaire (interdisciplinaire) • Développement de valeurs consistantes avec le DD.
Travail d'équipe Emilsson (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de compétences sociales pour le travail d'équipe, la communication et la collaboration. Leadership. Compréhension de la dynamique de groupe.

Révisions des cours et des programmes en ingénierie

Comme cela est mentionné dans la section précédente, différentes organisations sont actives en matière de formation en ingénierie durable. Quelques articles ou comptes rendus de conférence qui montrent ces développements sont discutés ici.

Allenby et al. (2009) ont réalisé une étude par questionnaires en 2007 à propos de l'enseignement en ingénierie durable aux États-Unis (Directions de département et de programmes : 1500 envois et 300 réponses; individus considérés comme des « champions du DD » : 327 envois et 137 réponses). Ils concluent que plusieurs approches à l'ingénierie durable cohabitent parfois dans la même institution, chacune ayant ses avantages et ses limitations :

- Intégration du DD dans des cours conventionnels, notamment en sélectionnant des exemples/cas/exercices pertinents;
- Intégration de modules sur le DD dans des cours existants;
- Mise sur pied de cours complets en DD.

Allenby et al. (2009) font ainsi ressortir plusieurs obstacles à l'évolution des pratiques éducatives vers le DD:

- Beaucoup considèrent que les programmes de 1er cycle en ingénierie sont déjà très chargés et qu'il n'y a pas de place pour de nouveaux cours à moins d'une refonte en profondeur des programmes;
- Les organisations académiques ont une inertie importante, et ce d'autant plus qu'elles sont grandes; cela ralentit les changements et les rend plus complexes;
- Il faut démontrer que l'introduction du DD ne va pas nuire à l'atteinte des objectifs académiques fixés par les organismes d'accréditation; les qualités requises pour solutionner des problèmes de génie de l'environnement font partie des sciences de l'ingénierie; l'ingénierie durable serait une étape supplémentaire d'intégration des sciences humaines qui peut être perçue comme une dilution des connaissances et des compétences;
- La perception de certains professeurs du DD est négative; cela est dû en partie au fait que le DD est parfois présenté comme une tendance anti-technologie;
- Certains intervenants ou institutions ne voient tout simplement pas la nécessité de changement.

Allenby et al. (2009) discutent aussi de la place de l'ingénierie durable : est-ce une discipline ou une compétence? Existe-t-il une discipline de l'ingénierie durable comme il existe maintenant une discipline du génie de l'environnement? Il est intéressant de noter que le débat, très polémique parfois, qui a eu lieu il y a une vingtaine d'années sur le génie de l'environnement, se pose à nouveau sur l'ingénierie durable : quelle est la place de programmes intégratifs? Quelle est la place du DD et quelle est la reconnaissance du DD en enseignement en ingénierie et dans la pratique de l'ingénierie? Comment le DD s'enseigne-t-il de manière rigoureuse? Les auteurs mettent l'accent sur l'écologie industrielle qui est, d'après eux, bien établie. Ils mentionnent plusieurs organisations et ressources (CSE, par exemple; voir section précédente)

pour aider à l'enseignement au DD en ingénierie. Ils expliquent comment des modules en DD peuvent être insérés dans les cours existants plutôt que de développer de nouveaux cours. Pour ces auteurs, à long terme, la durabilité ou la soutenabilité devraient être intégrées dans toutes les phases/facettes de la pratique de l'ingénierie.

Palme (2010) rapporte les réalisations et les obstacles rencontrés à la Chalmers University of Technology (Suède) en matière d'éducation au DD en ingénierie. Elle mentionne de nombreuses activités : travaux de réflexion individuels, travaux en équipe, jeux de rôle, débats et discussions, cours multidisciplinaires avec des conférenciers venant de différentes disciplines (psychologues, juristes, etc.), des visites sur le terrain, des collaborations entre les programmes d'ingénierie et d'architecture, etc. Elle mentionne aussi l'utilisation d'un site Web pour fédérer et diffuser les nombreuses réalisations et initiatives des enseignants de cette université. En termes de limitations, elle déplore le manque de ressources et la difficulté pour les enseignants de trouver le temps pour partager leurs expériences et initiatives.

Svanström et al. (2010) donne un feed-back complémentaire sur ce qui est réalisé à la Chalmers University of Technology. Dans cette université, les enseignants sont approchés individuellement ou en petits groupes en suivant la méthode développée à Delft University of Technology (« Individual Interaction Method »). La stratégie dans cette université est la suivante :

- Trouver différentes sources de motivation pour intégrer le DD dans la formation en ingénierie;
- Combiner l'intégration du DD dans la formation avec d'autres démarches de révision des programmes d'ingénierie;
- Respecter le calendrier académique (proposer des activités au bon moment);
- Établir un sens de la responsabilité face au DD;
- Initier des apprentissages individuels à tous les niveaux, mais aussi créer des synergies dans le cadre d'un projet global supporté par l'institution;
- Utiliser des ambassadeurs et diffuser les réussites.

Cette stratégie est mise en œuvre à travers des ateliers et un support individuel des enseignants par un groupe de personnes-ressources. L'expérience dans cette université montre l'importance du réseautage et le fait qu'il s'agit d'une démarche à long terme qui requiert un bon groupe de personnes-ressources.

Olsson (2010) considère que des changements significatifs en termes d'enseignement au DD passent nécessairement par une implication des enseignants et une collaboration entre enseignants et entre départements. Elle rapporte aussi une initiative originale appelée « Microtraining » qui consiste en des interventions pédagogiques très courtes (15min) portant sur le DD.

Jawahir et al. (2007) discutent de la révision des programmes d'ingénierie, en particulier des aspects qui portent sur la conception en ingénierie. Ils proposent une graduation dans l'enseignement au DD durant une formation en ingénierie (voir Figure 2). Suivant l'approche qu'ils proposent, une formation en ingénierie devrait débiter par une présentation du rôle et des responsabilités des ingénieurs dans la société et par un historique de la conception et de la fabrication des produits. À noter que les aspects historiques

sont souvent négligés dans la formation en ingénierie alors qu'ils sont essentiels pour bien comprendre l'évolution de la profession d'ingénieur et bien introduire les changements à venir.

1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année
<ul style="list-style-type: none"> • Rôle et responsabilités des ingénieurs dans la société • Histoire de la conception et de la fabrication des produits 	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance industrielle • Innovation technologique • Développements des moyens de production 	<ul style="list-style-type: none"> • Théories fondamentales • Applications des technologies 	<ul style="list-style-type: none"> • Projets sur la conception et la fabrication durables de produits • Transfert technologique

Figure 2. Apprentissage progressif en ingénierie durable
(figure traduite et adaptée de Jawahir et al., 2007)

Comme cela est mentionné à plusieurs reprises dans le présent rapport et dans de nombreuses publications, il serait important d'élargir la vision des ingénieurs sur des aspects autres que techniques durant leur formation académique. Pour Vandersteen et Mushtaq (2010), l'engagement communautaire local est un moyen d'atteindre cet objectif. Cela permet de développer les compétences de travail en équipe et la communication avec différents types d'intervenants, et prépare les étudiants à agir de manière engagée durant leur carrière d'ingénieur. Pour Chan et Fishbein (2009) et pour Kobelak (2010), l'engagement communautaire à l'échelle internationale permet de former un « ingénieur global » qui agit dans un système mondialisé où il est important de bien pouvoir communiquer dans différentes langues et cultures. Ces engagements communautaires, qui peuvent être réalisés par le biais d'implications para-académiques dans des organisations comme *Ingénieurs sans Frontières* par exemple, apparaissent comme un complément important à la formation régulière.

Le DD : un virage en profondeur

L'intégration de considérations de DD dans la formation des ingénieurs peut donc conduire à des changements importants dans les manières de former à cette profession. Il faudrait pour ce faire ne pas minimiser l'importance des réflexions de fond qu'exigent les transformations visées. On ne peut alors se contenter de changer une technologie pour une autre. Ce qui est en jeu c'est bien l'ouverture à une considération authentique des groupes de citoyens concernés par les développements technologiques en jeu et la reconnaissance des incertitudes et des enjeux sociaux, économiques et environnementaux liés à la mise en contexte de la pratique de l'ingénieur. Si on vise à former des ingénieurs plus soucieux des besoins des populations dans différents contextes sociaux et culturels (tel que recommandé dans la définition initiale du DD), des ingénieurs ouverts à considérer sérieusement la mise en application du principe de précaution, c'est une véritable culture du suivi continu, avec ouverture d'esprit et capacité au dialogue, que l'on cherche à renforcer actuellement en ingénierie.

4.2.1 *Présentation de quelques articles de recherche choisis*

Sans prétendre à l'exhaustivité, les six articles choisis que nous avons résumés dans ce rapport constituent un extrait représentatif de recherches qui se sont faites pour évaluer la mise en place de manières d'enseigner certains aspects du DD en ingénierie. Ces articles décrivent des démarches d'enseignement intéressantes et soulignent leurs principaux apports, ce qui peut alimenter la réflexion.

Une brève synthèse de ces articles est faite dans la présente section, en mettant l'accent sur les stratégies d'enseignement. Le lecteur trouvera également une analyse détaillée de ces articles à l'annexe 8.1.

À noter que certains termes peuvent avoir un sens légèrement différent selon les auteurs, les domaines de spécialisation de ceux-ci ou le contexte. Par exemple, cette compétence libellée « capacité d'interdisciplinarité », peut soit faire référence à la capacité d'un individu d'avoir des connaissances dans plus d'un domaine, soit faire référence à la capacité d'un individu de pouvoir travailler avec plusieurs acteurs différents et d'intégrer les idées de chacun dans la résolution d'un problème, soit faire référence à ces deux aspects simultanément.

La recherche dans le domaine de l'enseignement au DD en ingénierie trouve ses justifications dans le développement de ses compétences et ses moyens, avec des stratégies d'apprentissage qui se développent et se raffinent selon les circonstances. Pour la majorité des situations, les stratégies d'apprentissage visent rarement une compétence unique, mais généralement un ensemble de connaissances et de compétences.

Synthèse sur les stratégies d'enseignement

*« Creating sustainable development change agents through problem based learning:
from rearranging the deckchairs on the Titanic to inciting social revolution
– where should student PBL projects be pitched? »
Helen Dobson, EESD2010*

- ***La pédagogie par projet***

Lehmann (2008) rapporte l'expérience de l'Université d'Aalborg au Danemark qui utilise l'approche par projets. Leur principe est de faire apprendre par la pratique avec des problèmes complexes, réels et souvent avec un contact direct avec des compagnies ou des organismes de l'extérieur de l'université. En guise de soutien à leur démarche, les étudiants ont des cours sur le développement de compétences procédurales; les méthodes de coopération, la planification du processus d'apprentissage et le développement de systèmes de gestion de projet. Le processus d'apprentissage permet une intégration de connaissances et de compétences techniques propres au domaine, de connaissances interdisciplinaires et contextualisées (compréhension du cadre social, économique, environnemental, en développement durable), et de compétences procédurales (capacité d'analyser et d'écrire clairement, l'art de la collaboration, la planification et la gestion de projet, etc.).

« La leçon clef apprise à cette institution concernant le DD et l'enseignement en ingénierie est que pour acquérir des connaissances à propos d'un besoin ou d'un problème (en DD) chacun a besoin de

collaborer avec un ensemble de partenaires de la communauté. (Compagnies locales, politiciens, membres d'organismes, étudiants en ingénierie, départements, etc.) » Lehmann (2008)

- ***Stratégies actives et participatives***

McLaughlan (2007) a pour objectif de sensibiliser les étudiants de génie aux dimensions économiques, sociales, politiques et environnementales de thèmes choisis. Il cherche à faire travailler les étudiants avec des données qualitatives et quantitatives et à leur faire reconnaître les sources de conflit ou de controverse qui peuvent survenir en essayant d'atteindre un consensus. Sa recherche concerne des stratégies d'apprentissage actives et participatives telles que la simulation par jeux de rôle, la controverse structurée et la construction de scénarios. Il soutient qu'elles ont leur place dans les programmes de génie, parce qu'elles permettent d'amener une réflexion personnelle nécessaire et d'induire le développement d'une perspective intégrée et interdisciplinaire du développement durable. Par conséquent, elles peuvent permettre une transformation des pensées, des valeurs et des actions requises, une compréhension intégrée et interdisciplinaire des dimensions et perspectives des activités du génie, et l'acquisition de connaissances en développement durable.

- ***Les cartes conceptuelles***

Lourdé (2007) propose l'utilisation de cartes conceptuelles comme outil de représentation et d'évaluation de la compréhension du concept de développement durable dans des cours d'introduction à ce sujet. Comme outil de représentation, les cartes peuvent permettre une meilleure rétention des multiples dimensions en raison des liens établis par les étudiants. Puis comme outil d'évaluation, elles peuvent faire ressortir les éléments forts ou plus faibles d'un cours, en comparant des cartes effectuées en début et en fin de session.

- ***Comparaison de stratégies d'apprentissage***

L'étude de Segalàs (2010) compare six stratégies d'apprentissage (magistraux, projet, étude de cas, problèmes, « backcasting », jeux de rôle) utilisées dans dix cours d'introduction au développement durable sur 5 ans. Il poursuit les objectifs de développement de pensée critique et systémique, d'interdisciplinarité et de développement de valeurs consistantes avec le DD. Son évaluation repose sur la comparaison des cartes conceptuelles des étudiants en début et fin de session. Il constate que les étudiants perçoivent le DD comme étant principalement relié à la technologie et que celle-ci est capable de résoudre les problèmes environnementaux de la planète. Ainsi il suggère de mettre davantage l'emphase sur les aspects sociaux et institutionnels du DD. Il constate que l'usage des cartes conceptuelles est approprié et que l'application d'une approche active et constructive orientée vers la communauté d'étudiants augmente l'apprentissage cognitif à propos du DD.

- ***Interdisciplinarité***

Richter (2009) s'intéresse à l'interdisciplinarité, « caractérisée par les compétences des collaborateurs pour identifier, intégrer et valoriser les multiples perspectives et pour apprendre les uns des autres de façon que cela modifie leur propre compréhension et pratiques. » Son travail de recherche cible l'identification d'objectifs d'apprentissage mesurables pour développer la collaboration interdisciplinaire, et l'identification de barrières empêchant les étudiants de fonctionner avec succès dans un tel environnement. L'auteur propose cinq objectifs concrets, mais insiste sur l'importance d'effectuer d'autres travaux pour identifier des stratégies d'enseignement appropriées. L'auteur évoque le concept

d'égoïsme disciplinaire comme barrière à la compétence d'interdisciplinarité. Les étudiants éprouvent de la difficulté à reconnaître la contribution de leur propre discipline à un sujet, et à reconnaître les contributions (ou perspectives) d'autres domaines, techniques ou non, à un problème interdisciplinaire donné. L'auteur propose des objectifs et des pistes d'intervention possibles.

- ***Développement de compétences sociales***

Emilson (2008) s'est questionné sur la pertinence du développement des compétences sociales et de l'utilisation de théories en sciences sociales comme moyens pour développer la communication, la dynamique de groupe et le leadership. Les résultats de l'étude sont partagés. Il y a de l'intérêt parmi les étudiants. Ils ont appris à réfléchir sur leur comportement, mais ils ne sont pas capables d'appliquer les nouvelles connaissances. Plusieurs explications possibles sont énoncées. L'auteur conclut en insistant sur le fait que pour inclure les compétences sociales dans l'éducation en ingénierie, il est nécessaire de débiter avec le rôle des professeurs. Il faut les encourager à démontrer les dimensions sociales dans les situations professionnelles. L'auteur suggère, lorsque des ingénieurs en exercice sont invités comme conférenciers, de leur demander de développer un peu sur les dimensions sociales de la profession.

Tendances générales à retenir

Les publications sur le sujet de l'enseignement du DD en ingénierie sont relativement récentes et démontrent la nouveauté du domaine. Néanmoins, leur présence reflète la réflexion très riche et les initiatives nombreuses qui s'opèrent à l'heure actuelle internationalement sur les différents thèmes du tableau synthèse pour un enseignement orienté vers la transformation, vers le DD. Chacun de ces thèmes pourrait faire l'objet d'une étude en soi, tant ils sont riches, mais l'objectif était ici d'en faire l'inventaire.

Au niveau de l'organisation des programmes, typiquement il y a proposition :

- de cours de DD, souvent en début de parcours;
- de cours interdisciplinaires en lien avec le domaine de spécialisation;
- une intégration de contenu en DD dans tous les cours où cela est pertinent (outils, nouvelles connaissances techniques, comparaison de méthodes, expériences, etc.) Dans sa forme la plus simple, un sujet rattaché au DD peut être présenté en 15-20 minutes dans un cours;
- de projets qui permettent une initiation au DD (identification des différentes dimensions, considération des différentes perspectives d'acteurs, discussion sur la prise de décision, etc.) Des projets réels, complexes, multidisciplinaires avec un enjeu de DD. Certaines universités s'orientent vers des projets pour l'aide internationale, d'autres ancrent leur intégration du DD à la formation sur des partenariats avec des organisations locales (compagnies, organismes, etc.);
- de conférences de personnes invitées qui relatent des expériences concrètes, des solutions, des sujets particuliers.

La littérature présente également des stratégies d'apprentissage pour l'appropriation des connaissances et le développement de compétences. Ces stratégies ont clairement leur place pour mettre les étudiants en action dans un contexte de DD et pour susciter la réflexion.

Aucun auteur ne nie l'importance du développement de connaissances et de compétences techniques disciplinaires, mais la littérature montre que l'éducation en ingénierie s'oriente vers la poursuite d'une finalité qui serait spécifique à la prise en compte du DD.

5 Recommandations

5.1 *Élaborer une stratégie d'éducation au DD en ingénierie*

Le rapport contient de nombreux exemples de principes et d'actions qui pourraient être mis en œuvre ou étendus dans le but de former les futurs ingénieurs au DD. Tel que l'on fait différentes universités, notamment celle de *Chalmers University of Technology*, une stratégie de formation au DD pourrait être développée et intégrée aux initiatives déjà en cours. Cette stratégie éducative pourrait viser à :

- informer, sensibiliser et impliquer les enseignants dans la formation au DD en ingénierie;
- définir les compétences recherchées en lien avec la formation au DD en ingénierie;
- élaborer des approches et des outils pédagogiques permettant de développer ces compétences;
- élaborer des outils de mesure de développement de ces compétences.

Il est également suggéré de consulter les articles suivants qui comportent des pistes de réflexion pour l'intégration du DD en ingénierie:

- Allenby, 2009
- Moore, 2005
- Peet, 2004
- Paten, 2005
- Velasquez, 2005

Il serait logique d'intégrer cette stratégie éducative dans la démarche de révision des programmes d'ingénierie de premier cycle qui est demandée par le BCAPG. Il s'agirait en particulier d'analyser les qualités et compétences exigées par le BCAPG sous l'angle de la formation au DD.

Il serait également logique d'intégrer cette stratégie pour l'enseignement en ingénierie dans une stratégie plus large qui viserait tous les domaines enseignés à l'UL. Cela faciliterait entre autres les initiatives interdépartementales et interfacultaires.

L'obligation réglementaire d'initier tous les étudiants de premier cycle de l'UL au DD pourrait être considérée comme une première étape dans cette stratégie éducative.

Il serait important d'établir des priorités d'actions, car il y a beaucoup à faire et les moyens pour mettre en œuvre une telle stratégie risquent d'être limités.

À la lumière de la revue bibliographique, d'entretiens avec plusieurs professeurs en ingénierie de l'UL et de nos propres réflexions sur le sujet, voici d'autres principes qui pourraient guider l'élaboration d'une stratégie pour la formation au DD en ingénierie:

- Reconnaître la diversité des approches possibles et les réserves face au DD; laisser émerger/convaincre plutôt que de forcer les choses (approche moins rapide, mais plus durable); favoriser le débat;
- Respecter le calendrier académique (proposer des activités au bon moment);
- Encourager, reconnaître et faire connaître les initiatives (le présent rapport y concourt);
- Bâtir sur les acquis et les initiatives (approche « bottom-up »);
- Lever les barrières administratives qui gênent les initiatives interdépartementales et interfacultaires en matière d'enseignement au premier cycle;
- Utiliser des ambassadeurs (enseignants, étudiants, gestionnaires);
- Établir des partenariats internes et externes (étudiants, ingénieurs, compagnies, etc.).

5.2 Développer des approches et des outils pour la formation au DD en ingénierie

Des approches et des outils pédagogiques pourraient être développés à différents niveaux pour favoriser la formation au DD dans les programmes de premier cycle en ingénierie à l'UL :

- ajout d'interventions ou d'activités dans des cours existants;
- révision en profondeur de cours existants;
- développement de nouveaux cours;
- approche programme.

On pourrait chercher à appliquer ce qui a déjà été fait dans d'autres universités, notamment aux États-Unis et en Europe. Le chapitre 4 du présent rapport fait état de nombreuses initiatives qui pourraient être appliquées dans les programmes d'ingénierie à l'UL. On pourrait également mettre à profit ce qui se fait déjà à l'UL. Aussi, il serait intéressant de recenser de manière plus complète, les initiatives de formation au DD en ingénierie à l'UL.

Idéalement, il faudrait évaluer la portée de ces initiatives, les préciser et les enrichir pour les systématiser ensuite, si souhaité, via des approches programmes structurées, de manière à inclure peu à peu dans différents cours d'un même programme, le développement des principales compétences visées, rattachées aux connaissances de base nécessaires.

On pourrait penser à des projets pilotes (cours et programmes) qui permettraient de tester des outils ou des approches pédagogiques. Ces projets pilotes feraient l'objet de suivis plus serrés et permettraient de développer des guides d'application. Puis on pourrait penser à des projets d'implantation plus larges.

Miser sur une plus grande intégration de considérations éthiques en ingénierie semble également important si l'on considère sérieusement l'intégration du principe de précaution dans les prises de décision et la culture du suivi. Il y a là encore, tout un chantier de réflexion à développer pour enrichir la formation des ingénieurs en ce sens, et ce, tout en tenant compte de ce qui est déjà fait. Cette réflexion éthique devrait être accompagnée d'une clarification du rôle de l'ingénieur auprès des étudiants en ingénierie.

Il ressort également de la revue de la littérature que le développement de l'aptitude à l'interdisciplinarité est fondamental dans la mise en œuvre des principes de DD et dans la résolution de problèmes complexes auxquels les ingénieurs font face.

Enfin, voici quelques suggestions plus spécifiques pour des changements dans les cours :

- Développer des cours, ou des parties de cours, sur des outils qui permettent de mettre en œuvre les principes de DD dans les projets d'ingénierie : écoconception, éco-ingénierie, analyse de scénarios, analyse de cycle de vie, etc.;
- À l'occasion de la révision des programmes en ingénierie demandée par le BCAPG :
 - Intégrer des cours (par exemple : éthique appliquée, impacts sociaux des projets d'ingénierie, DD);
 - Intégrer des analyses d'incertitude et des analyses de risque dans les cours de mathématiques appliquées;
- Développer des cours-projets intégrateurs et interdisciplinaires en fin de baccalauréat (en coordination avec des initiatives similaires dans d'autres domaines que l'ingénierie).

Conclusion

« The goal is sustainable living – being able to live on Planet Earth for the indefinite future »
Dodds 2005, Royal Academy of Engineering, UK

Compte tenu de l'émergence du DD en ingénierie à travers le monde, de l'évolution des normes d'évaluation des programmes d'ingénierie au Canada, du grand nombre de programmes en ingénierie à l'UL, de la volonté de l'UL de faire du DD une priorité institutionnelle, de l'obligation réglementaire d'initier tous les étudiants de 1^{er} cycle de l'UL au DD, il nous a semblé important de rassembler des connaissances et des expériences pertinentes pour favoriser la formation au DD dans les programmes de 1^{er} cycle en ingénierie de l'UL.

Les objectifs étaient donc de faire un état des connaissances de la formation au DD en ingénierie et d'élaborer des recommandations pour favoriser la formation au DD dans les programmes d'ingénierie. La collecte d'information sur les pratiques d'intégration du DD dans l'enseignement a été faite par une revue bibliographique essentiellement dans des revues scientifiques et par une recherche sur Internet.

Sans avoir la prétention d'avoir fait un recensement exhaustif, nous avons identifié des organisations particulièrement impliquées à travers le monde dans l'enseignement du DD aux élèves ingénieurs. Cela a été également l'occasion d'identifier des conférences dédiées en partie ou en totalité à l'enseignement du DD en ingénierie. L'étude a permis aussi de répertorier un très grand nombre d'écrits sur ce thème qui ont été classés en fonction des aspects abordés dans les articles. Une synthèse bibliographique est présentée sous la forme d'une carte conceptuelle. Un nombre limité d'articles a été analysé plus en détail afin d'illustrer, entre autres, les compétences visées et les moyens mis en œuvre pour développer ces compétences. Il ressort qu'il existe déjà une grande variété d'outils qui ont été testés par des enseignants en ingénierie. Une synthèse de stratégies et de changements de programmes ou de cours mis en œuvre dans différentes universités est également présentée incluant un retour très instructif sur ces expériences.

Les suggestions faites portent sur le développement d'une stratégie et sur des actions qui pourraient découler d'une telle stratégie.

Les informations recueillies et les suggestions présentées dans ce rapport devraient bénéficier en premier lieu aux enseignants et étudiants des programmes d'ingénierie, mais nous anticipons qu'elles pourront être, en bonne partie, utilisées par les enseignants et pour les étudiants d'autres programmes.

6 Références bibliographiques

Le premier tableau rappelle les thèmes de la synthèse bibliographique avec les numéros de section qui y sont associés. Ces numéros de section sont utilisés à la première colonne de la bibliographie, pour indiquer les thèmes abordés dans chacune des références.

1. Position éthique, valeurs	
2. Transformation des mentalités, pensées, culture et rôle social.	
3. Pratique de formation (PF)	4. Stratégies d'enseignement (SE)
3.1 PF - Compétences	4.1 SE - Générales /comparatives
3.2 PF - Connaissances en DD	4.2 SE - Actives et participatives (jeux de rôle...)
3.3 PF - Connaissances interdisciplinaires	4.3 SE - « Backcasting »
3.4 PF - Connaissances techniques	4.4 SE - Cartes conceptuelles
3.5 PF - Outils de génie	4.5 SE - Compétences sociales, communication
3.6 PF - Pensée systémique	4.6 SE - Études de cas
3.7 PF - Principes	4.7 SE - Interdisciplinarité
3.8 PF - Recherche de solutions multidimensionnelles	4.8 SE - Pédagogie par projets
3.9 PF - Problèmes réels, complexes	
5. Processus de prise de décision / Culture du suivi.	
6. Cours / Programmes /Freins	

Bibliographie

3.2, 3.3, 3.8	Agrawal, A. and M. C. Lemos (2007). "A greener revolution in the making?: Environmental governance in the 21 st Century." <i>Environment</i> 49(5).
6	Allen, D. T., C. F. Murphy, et al. (2009). "Incorporating Sustainability into Chemical Engineering Education." <i>Chemical Engineering Progress</i> 105(1): 47-53.
3.7	Allenby, B., C. F. Murphy, et al. (2009). "Sustainable engineering education in the United States." <i>Sustainability Science</i> 4: 7-15.
3.7	Anastas, P. T. and J. B. Zimmerman (2003). <i>Through the 12 Principles GREEN Engineering</i> . <i>Environmental Science & Technology</i> : 94A - 101 A.
3.1	Anwar, S. and W. J. Rothwell (1997). "Implementing team-based collaborative problem solving in ET: a case study." <i>Journal of Engineering Technology</i> 14(2): 34-38.
3.3	Ashford, N. A. (2004). "Major Challenges to Engineering Education for Sustainable Development: What Has to Change to Make It Creative, Effective, and Acceptable to the Established Disciplines?" <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 5(3): 239-250.
3.3	Ausubel, J. H. (2000). "The great reversal: nature's chance to restore land and sea." <i>Technology in Society</i> 22: 289-301.

3.2, 6	Azapagic, A., S. Perdan, et al. (2005). "How Much Do Engineering Students Know about Sustainable Development? The Findings of an International Survey and Possible Implications for the Engineering Curriculum." <i>European Journal of Engineering Education</i> 30(1): 1-19.
3.3	Barratt, R. S. (2006). "Meeting lifelong learning needs by distance teaching - Clean technology." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 906-915.
3.5	Barron, D., S. Jackson, et al. (2005). "Ignorance, Environmental Education Research and Design Education." <i>Australian Journal of Environmental Education</i> 21: 39-46.
4.7	Barry, A., G. Born, et al. (2008). "Logics of interdisciplinarity." <i>Economy & Society</i> 37(1): 20-49.
3.3	Berntdsson, R., M. Falkenmark, et al. (2005). "Educating the compassionate water engineer - a remedy to avoid future water management failures?" <i>Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques</i> 50(1): 7-16.
3.3, 3.5	Bijker, W. E. (2007). "American and Dutch Coastal Engineering: Differences in Risk Conception and Differences in Technological Culture." <i>Social Studies of Science</i> 37(1): 143-151.
3.3, 3.5, 6	Boks, C. and J. C. Diehl (2006). "Integration of sustainability in regular courses: experiences in industrial design engineering." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 932-939.
3.3, 3.9, 6	Boni, A. and A. Perez-Foguet (2008). "Introducing Development Education in Technical Universities: Successful Experiences in Spain." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 343-354.
3.1, 3.3, 4.5, 4.8, 6	Bonnet, H., J. Quist, et al. (2006). "Teaching Sustainable Entrepreneurship to Engineering Students: The Case of Delft University of Technology." <i>European Journal of Engineering Education</i> 31(2): 155-167.
3.3, 3.5, 6	Boyle, C. (2004). "Considerations on Educating Engineers in Sustainability." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 5(2): 147-155.
1, 2, 6	Bryce, P., S. Johnston, et al. (2004). "Implementing a Program in Sustainability for Engineers at University of Technology, Sydney: A Story of Intersecting Agendas." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 5(3): 267-277.
3.2, 3.3	Bugliarello, G. (2006). Urban sustainability: an introductory interdisciplinary course in the engineering curriculum. 5th Global Congress on Engineering Education, Congress Proceedings. Z. J. Pudlowski: 47-49.
4.8	Cantalapiedra, I. R., M. Bosch, et al. (2006). "Involvement of final architecture diploma projects in the analysis of the UPC buildings energy performance as a way of teaching practical sustainability." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 958-962.
3.2	Carew, A. L. and C. A. Mitchell (2006). "Metaphors Used by Some Engineering Academics in Australia for Understanding and Explaining Sustainability." <i>Environmental Education Research</i> 12(2): 217-231.
1, 2	Catalano, G. D. (2006). "Promoting peace in engineering education: Modifying the ABET criteria." <i>Science and Engineering Ethics</i> 12(2): 399-406.
3.7	Cengel, Y. A. (2007). "Green thermodynamics." <i>International Journal of Energy Research</i> 31(12): 1088-1104.
4.8, 6	Chau, K. W. (2007). "Incorporation of Sustainability Concepts into a Civil Engineering Curriculum." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 133(3): 188-191.
4.5	Colbeck, C. L., S. E. Campbell, et al. (2000). "Grouping in the dark: what college students learn from group projects." <i>Journal of Higher Education</i> 71(1): 60-83.

2, 3.3	Conlon, E. (2008). "The New Engineer: Between Employability and Social Responsibility." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(2): 151-159.
3.9, 4.7	Costa, S. and M. Scoble (2006). "An interdisciplinary approach to integrating sustainability into mining engineering education and research." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(3-4): 366-373.
	Cruickshank, H.J., Fenner, R.A. (2007). "The evolving role of engineers: towards sustainable development of the built environment " <i>Journal of International Development</i> 19(1), 111-121.
6	CSE: "Center for Sustainable Engineering." from http://www.csengin.org/ .
3.5	Curran, M. A. (2006). <i>Life cycle assessment: Principles and Practice</i> . Cincinnati, Ohio, Scientific Applications International Corporation (SAIC).
3.2, 3.5, 3.7	Cushman-Roisin, B. (2009). <i>SUSTAINABLE ENGINEERING: What it is? How to do it and How to measure it?</i> Présentation personnelle de l'auteur.
3.3, 3.5, 3.7	Davidson, C. I., C. T. Hendrickson, et al. (2010). "Preparing future engineers for challenges of the 21st century: Sustainable engineering." <i>Journal of Cleaner Production</i> : 1-4.
3.7	Davidson, C. I., H. S. Matthews, et al. (2007). "Adding sustainability to the engineer's toolbox: A challenge for engineering educators." <i>Environmental Science & Technology</i> 41(14): 4847-4850.
3.2, 6	Dawe, G., R. Jucker, et al. (2005). <i>Sustainable Development in Higher Education: Current Practice and Future Developments</i> . York, Higher Education Academy: 87.
3.5, 3.9	De Eyto, A., M. Mc Mahon, et al. (2008). "Strategies for Developing Sustainable Design Practice for Students and SME Professionals." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 331-342.
3.9	Déry G., <i>Compagnie : Roche, Responsabilité civile des entreprises, présentation du 2009/06/04.</i>
3.9, 6	De Werk, G. and L. M. Kamp (2008). "Evaluation of the Sustainable Development Graduation Track at Delft University of Technology." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(2): 221-229.
4.5	Dean, B. V., A. Osland, et al. (2005). "Lessons learned in the implementation of e-team." <i>International Journal of Engineering Education</i> 21(2): 222-227.
6	Desha, C. J., K. Hargroves, et al. (2009). "Addressing the Time Lag Dilemma in Curriculum Renewal towards Engineering Education for Sustainable Development." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 10(2): 184-199.
3.2, 4.5	Dieleman, H. and D. Huisingh (2006). "Games by which to learn and teach about sustainable development: exploring the relevance of games and experiential learning for sustainability." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 837-847.
1, 2, 3.7, 3.8, 4.6, 5	Dodds, R. and R. Venables (2005). <i>Engineering for Sustainable Development : Guiding Principles</i> . London, The Royal Academy of Engineering: 52.
3.4	Elefsiniotis, P. and D. G. Wareham (2005). "ISO 14000 Environmental Management Standards: Their Relation to Sustainability." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 131(3): 208-212.
5	Elghali, L., R. Clift, et al. (2008). "Decision support methodology for complex contexts." <i>Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability</i> 161(1): 7-22.
1, 3.3, 5	El-Zein, A., D. Airey, et al. (2008). "Sustainability and Ethics as Decision-Making Paradigms in Engineering Curricula." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 9(2): 170-182.
3.1, 4.5	Emilsson, U. M. and B. Lilje (2008). "Training Social Competence in Engineering

	Education: Necessary, Possible or Not Even Desirable? An Explorative Study from a Surveying Education Programme." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 259-269.
3.1, 4.7	Engineering, N. A. o. (2004). <i>Facilitating Interdisciplinary Research</i> , National Academy of Engineering: 332.
1, 2	Feest, T. (2008). "Engineers: Going Global." <i>Industry and Higher Education</i> 22(4): 209-213.
2, 6	Fenner, R. A., C. M. Ainger, et al. (2005). "Embedding Sustainable Development at Cambridge University Engineering Department." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(3): 229-241.
	Chan. A.D.C., Fishbein, J. (2009). A global engineer for the global community. <i>The journal of Policy Engagement</i> . 1(2): 4-9.
3.1, 3.5, 3.6, 4.7	Fincham, R. and R. Roslender (1988). "Systems Theory and Interdisciplinarity in Engineering Education: A Review and Critique." <i>European Journal of Engineering Education</i> 13(3): 245-256 .
3.2, 4.6	Fleury, P., S. Petit, et al. (2008). "Implementing Sustainable Agriculture and Rural Development in the European Alps Assets and Limitations of Local Projects Based on Multi-stakeholder Participation." <i>Mountain Research and Development</i> 28(3-4): 226-232.
2, 3.3, 3.8, 4.5, 4.7, 6	Fokkema, J., L. Jansen, et al. (2005). "Sustainability: Necessity for a Prosperous Society." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(3): 219-228.
3.5	Fritz, M. and G. Schiefer (2008). "Food Chain Management for Sustainable Food System Development: A European Research Agenda." <i>Agribusiness</i> 24(4): 440-452.
3.5, 3.7	Gagnon, B., R. Leduc, et al. (2008). Sustainable development in engineering: a review of principles and definition of a conceptual framework, Groupe de Recherche en Économie et Développement International (Grédi), Université de Sherbrooke.
3.3, 3.5, 3.7	Gagnon, B., R. Leduc, et al. (2009). "Sustainable Development in Engineering: A Review of Principles and Definition of a Conceptual Framework." <i>Environmental Engineering Science</i> 26(10): 1459-1472.
3.9	Gao, C., H. Hou, et al. (2006). "Education for regional sustainable development: experiences from the education framework of HHCEPZ project." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 994-1002.
6	Garcia, F. J. L., K. Kevany, et al. (2006). "Sustainability in higher education: what is happening?" <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 757-760.
3.5, 3.7	Garcia-Serna, J., L. Perez-Barrigon, et al. (2007). "New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering." <i>Chemical Engineering Journal</i> 133(1-3): 7-30.
6	Glavic, P., R. Lukman, et al. (2009). "Engineering Education: Environmental and Chemical Engineering or Technology Curricula--A European Perspective." <i>European Journal of Engineering Education</i> 34(1): 47-61.
3.2	Golusin, M. and O. M. Ivanovic (2009). "Definition, characteristics and state of the indicators of sustainable development in countries of Southeastern Europe." <i>Agriculture Ecosystems & Environment</i> 130(1-2): 67-74.
6	Gossling-Reisemann, S. (2007). "Training engineers for sustainability at the University of Bremen." <i>International Journal of Engineering Education</i> 23(2): 301-308.
2	Gray, J. S. and J. M. Bewers (1996). "Towards a Scientific Definition of the Precautionary Principle." <i>Marine Pollution Bulletin</i> 32(11): 768-771.
4.7	Gunn, W. (2008). "Learning to Ask Naive Questions with IT Product Design Students." <i>Arts</i>

	and Humanities in Higher Education: An International Journal of Theory, Research and Practice 7(3): 323-336.
6	Hageman, J. J., J. J. Van Der Boom, et al. (2002). Integrating sustainable development in engineering education. The case for chemistry and chemical engineering. Conference Engineering Education in Sustainable Development: 23-31.
4.7	Hamelin, R. (1995). "Chemistry and environment – A field of interdisciplinarity", Quimica Nova 18(1): 68-73.
2, 3.9, 4.8, 6	Hansen, J. A. and M. Lehmann (2006). "Agents of change: universities as development hubs." Journal of Cleaner Production 14(9-11): 820-829.
3.3, 3.9, 4.8	Hansen, P. H. (1995). "International Education and Sustainable Development: An American Experience in Bangkok, Venice and Guayaquil." Environmentalist 15(4): 252-256.
3.5, 3.7	Harper, E. M. and T. E. Graedel (2004). "Industrial ecology: a teenager's progress." Technology in Society 26: 433-445.
3.3, 3.5, 3.9, 4.7, 4.8	Harrison, G. P., D. E. Macpherson, et al. (2007). "Promoting Interdisciplinarity in Engineering Teaching." European Journal of Engineering Education 32(3): 285-293.
3.3, 3.5, 3.9, 4.7, 4.8	Haselbach, L. M. and M. Maher (2008). "Civil engineering education and complex systems." Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice 134(2): 186-192.
3.5	Hendrickson, C., N. Conway-Schempf, et al. Introduction to Green Design. Pittsburgh PA, Green Design Initiative, Carnegie Mellon University.
3.3, 3.9, 4.7, 6	Hokanson, D. R., L. D. Phillips, et al. (2007). "Educating engineers in the sustainable futures model with a global perspective: Education, research and diversity initiatives." International Journal of Engineering Education 23(2): 254-265.
3.2	Holden, M., J. MacKenzie, et al. (2008). "Vancouver's promise of the world's first sustainable Olympic Games." Environment and Planning C-Government and Policy 26(5): 882-905.
6	Holmberg, J., M. Svanstrom, et al. (2008). "Embedding Sustainability in Higher Education through Interaction with Lecturers: Case Studies from Three European Technical Universities." European Journal of Engineering Education 33(3): 271-282.
3.4	Howard, B. D. (2008). Green Washing: What Really is Green? (Présentation)
3.9, 4.2, 4.8, 6	Huntzinger, D. N., M. J. Hutchins, et al. (2007). "Enabling sustainable thinking in undergraduate engineering education." International Journal of Engineering Education 23(2): 218-230.
3.3, 3.4, 4.7	Hurtado, O. and C. Hunte (2007). "Educating engineers in sustainable energy development: an interdisciplinary approach." International Journal of Engineering Education 23(2): 266-275.
	IngénieursCanada (2006). Guide national sur l'environnement et le développement durable, Ingénieurs Canada.
3.5, 3.9, 4.7	Itkonen, M., K. E. Ekman, et al. (2009). "Murjottelu-Interdisciplinary Training Campaign for Industrial Design and Engineering Students." European Journal of Engineering Education 34(3): 263-271.
3.3, 6	Jahan, K., J. W. Everett, et al. (2004). "Environmental education for all engineers." Water Science and Technology 49(8): 19-25.
2	Juarez-Najera, M., H. Dieleman, et al. (2006). "Sustainability in Mexican Higher Education: towards a new academic and professional culture." Journal of Cleaner Production 14(9-11): 1028-1038.
	C. Juma and L. Yee-Cheong, "Reinventing global health: the role of science, technology, and innovation," Lancet 365 (9464), 1105-1107 (2005).

3.2, 3.3	Kamp, L. (2006). "Engineering education in sustainable development at Delft University of Technology." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 928-931.
3.9, 4.8	Karol, E. (2006). "Using campus concerns about sustainability as an educational opportunity: a case study in architectural design." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 780-786.
2	Kates, R. W. (2002). "Humboldt's dream, beyond disciplines, and sustainability science: Contested identities in a restructuring academy." <i>Annals of the Association of American Geographers</i> 92(1): 79-81.
3.2	Kates, R. W., W. C. Clark, et al. (2001). "Environment and development - Sustainability science." <i>Science</i> 292(5517): 641-642.
3.2	Kates, R. W. and P. Dasgupta (2007). "African poverty: A grand challenge for sustainability science." <i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i> 104(43): 16747-16750.
6	Katz L., et al. (2007). "Educating Students in Sustainable Engineering (II)." <i>The International Journal of Engineering Education</i> 23(6). (U. Texas, MichiganTech.)
3.2	Kelly, W. E. (2008). "General education for civil engineers: Sustainable development." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 134(1): 75-83.
3.5, 3.6, 4.7, 6	King, M. C. (1988). "Interdisciplinarity and Systems Thinking: Some Implications for Engineering Education and Education for Industry." <i>European Journal of Engineering Education</i> 13(3): 235-244.
3.3, 3.4, 4.7, 6	Klymchuk, S., T. Zverkova, et al. (2008). "Increasing Engineering Students' Awareness to Environment through Innovative Teaching of Mathematical Modelling." <i>Teaching Mathematics and Its Applications: An International Journal of the IMA</i> 27(3): 123-130.
4.1	Knowlton, D. (2003). "Preparing students for educated living: virtues of problem based learning across the higher education curriculum." <i>New Directions for Teaching and Learning</i> 95: 5-12.
	Kobelak, A. (2010). The global engineer redux. <i>The journal of Policy Engagement</i> . 2(1): 5-7.
3.9	Koester, R. J., J. Eflin, et al. (2006). "Greening of the campus: a whole-systems approach." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 769-779.
	Jawahir, I.S., Rouch, K.E., Dillon, JR., Holloway, D., Hall, A. (2007) Design for Sustainability (DFS): New challenges in developing and implementing a curriculum for next generation design and manufacturing engineers. <i>Int. J. Eng. Ed.</i> , 23(6): 1053-1064.
3.1, 4.5	Lappalainen, P. (2009). "Communication as Part of the Engineering Skills Set." <i>European Journal of Engineering Education</i> 34(2): 123-129.
4.4	Legrand, E. (2000). "Utilisation pragmatique de cartes cognitives comme outil d'évaluation en éducation relative à l'environnement." <i>Education relative à l'environnement</i> : 74-95.
3.9, 4.1, 4.8	Lehmann, M., P. Christensen, et al. (2008). "Problem-Oriented and Project-Based Learning (POPBL) as an Innovative Learning Strategy for Sustainable Development in Engineering Education." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 283-295.
3.1, 4.1, 4.5	Leydens, J. A. and J. C. Lucena (2009). "Listening as a Missing Dimension in Engineering Education: Implications for Sustainable Community Development Efforts." <i>IEEE Transactions on Professional Communication</i> 52(4): 359-376.
3.3, 3.5, 6	Libra, J. A. (2007). "Environmental process engineering: Building capacity for sustainability." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 133(4): 308-319.
6	Lidgren, A., H. Rodhe, et al. (2006). "A systemic approach to incorporate sustainability into university courses and curricula." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 797-809.

3.1, 3.9, 4.7, 4.8	Lima, R. M., D. Carvalho, et al. (2007). "A Case Study on Project Led Education in Engineering: Students' and Teachers' Perceptions." <i>European Journal of Engineering Education</i> 32(3): 337-347.
4.1, 4.5	Lindberg-Sand, A. and T. Olsson (2008). "Sustainable Assessment? Critical Features of the Assessment Process in a Modularised Engineering Programme." <i>International Journal of Educational Research</i> 47(3): 165-174.
3.2, 4.4	Lourdel, N., N. Gondran, et al. (2005). "Introduction of Sustainable Development in Engineers' Curricula: Problematic and Evaluation Methods." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(3): 254-264.
3.2, 4.4	Lourdel, N., N. Gondran, et al. (2007). "Sustainable Development Cognitive Map: A New Method of Evaluating Student Understanding." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 8(2): 170-182.
4.1, 4.2	Lourdel, N., C. Harpet, et al. (2004). Sustainable development training by simulation of an industrial crisis situation. <i>Engineering Education in Sustainable Development</i> . Barcelona.
6	Lozano García, F. J., K. Kevany, et al. (2006). "Sustainability in higher education: what is happening?" <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 757-760.
6	Lozano, R. (2006). "Incorporation and institutionalization of SD into universities: breaking through barriers to change." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 787-796.
6	Lozano, R. (2006). "A tool for a Graphical Assessment of Sustainability in Universities (GASU)." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 963-972.
2, 3.2	Lucena, J. and J. Schneider (2008). "Engineers, Development, and Engineering Education: From National to Sustainable Community Development." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 247-257.
3.2, 3.3	Lundqvist, U. and M. Svanstrom (2008). "Inventory of Content in Basic Courses in Environment and Sustainable Development at Chalmers University of Technology in Sweden." <i>European Journal of Engineering Education</i> 33(3): 355-364.
3.2, 3.3, 3.6, 4.6, 5	Macris, A. M. and D. A. Georgakellos (2006). "A new teaching tool in education for sustainable development: ontology-based knowledge networks for environmental training." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 855-867.
3.1, 4.7	Maingain, A., B. Dufour, et al. (2002). <i>Approches didactiques de l'interdisciplinarité</i> .
2, 3.1, 4.6	Manoliadis, O. (2009). "Education for Sustainability: Experiences from Greece." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 135(2): 70-74.
3.6, 3.8, 3.9	Manring, S. L. and S. B. Moore (2006). "Creating and managing a virtual inter-organizational learning network for greener production: a conceptual model and case study." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 891-899.
3.1, 3.9	Martinez R, L. M., P. R. W. Gerritsen, et al. (2006). "Incorporating principles of sustainable development in research and education in western Mexico." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 1003-1009.
3.1, 3.9, 6	McAloone, T. C. (2007). "A competence-based approach to sustainable innovation teaching: Experiences within a new engineering program." <i>Journal of Mechanical Design</i> 129(7): 769-778.
3.3, 4.7, 6	McArthur, J. W. and J. Sachs (2009). "Needed: A New Generation of Problem Solvers." <i>Chronicle of Higher Education</i> 55(40).
3.5, 3.9, 4.8	McKay, A. and D. Raffo (2007). "Project-based learning: a case study in sustainable design." <i>International Journal of Engineering Education</i> 23(6): 1096-1115.
3.2, 3.3, 3.4,	McLaughlan, R., D. Kirkpatrick, et al. (2001). <i>Academic and Institutional Issues Related to</i>

4.2, 4.7	the Planning and Implementation of a Multi-Disciplinary Roleplay-Simulation Involving Collaboration across Institutions.
2, 3.3, 4.2	McLaughlan, R. G. (2007). "Instructional strategies to educate for sustainability in technology assessment." <i>International Journal of Engineering Education</i> 23(2): 201-208.
3.5, 4.2	Medellín-Milán, P. (2006). "Two approaches for pollution prevention in the chemical engineering curriculum at UASLP." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 940-945.
3.9	Michigan Tech (10/02/2010). "International Sustainable Engineering Initiative." from http://www.cce.mtu.edu/sustainable_engineering/ .
1, 3.2, 3.3, 3.9, 6	Mihelcic, J. R., K. G. Paterson, et al. (2008). "Educating engineers in the sustainable futures model with a global perspective." <i>Civil Engineering and Environmental Systems</i> 25(4):255-263 .
3.3	Mihelcic, J. R., L. D. Phillips, et al. (2006). "Integrating a global perspective into education and research: Engineering international sustainable development." <i>Environmental Engineering Science</i> 23(3): 426-438.
3.3, 3.4, 3.5, 3.9, 5	Mirza, S. (2006). "Durability and sustainability of infrastructure - a state-of-the-art report." <i>Canadian Journal of Civil Engineering</i> 33(6): 639-649.
6	Moghaddam, M. R. A., A. Taher-shamsi, et al. (2007). "The Role of Environmental Engineering Education in Sustainable Development in Iran: AUT Experience." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 8(2): 123-130.
3.5, 3.8	Morris, R., P. Childs, et al. (2007). "Sustainability by Design: A Reflection on the Suitability of Pedagogic Practice in Design and Engineering Courses in the Teaching of Sustainable Design." <i>European Journal of Engineering Education</i> 32(2): 135-142.
2, 3.2, 6	Mulder, K. F. (2006). "Engineering Curricula in Sustainable Development. An Evaluation of Changes at Delft University of Technology." <i>European Journal of Engineering Education</i> 31(2): 133-144.
2, 3.2	Mulder, K. F. (2009). "Don't Preach. Practice! Value Laden Statements in Academic Sustainability Education." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 11(1): 74-85.
	Mulder, K. F. (2009). <i>L'ingénieur et le développement durable</i> . Québec, Les Presses de l'Université du Québec.
3.5	Nakajima, N. and W. H. Vanderburg (2005). "A Failing Grade for Our Efforts to Make Our Civilization More Environmentally Sustainable." <i>Bulletin of Science Technology and Society</i> 25(2): 129-144.
1, 2, 3.3	Nath, B. and K. Kazashka-Hristozova (2005). "Quo vadis global environmental sustainability? A proposal for the environmental education of engineering students." <i>International Journal of Environment and Pollution</i> 23(1): 1-15.
3.7, 6	NEP – Natural Edge Project (2009). "Principles and Practices in Sustainable Development for the Engineering and Built Environment Project." www.naturaledgeproject.net/ESSPCLP-Principles_and_Practices_in_SD-Lecture1.aspx .
1, 2, 3.3, 3.6	Newberry, B. (2007). "Are engineers instrumentalists?" <i>Technology in Society</i> 29: 107-119.
2	Nichols, S. P. and W. F. Weldon (1997). "Professional Responsibility: The Role of the Engineer in Society." <i>Science and Engineering Ethics</i> 3(3): 327-337.
2, 3.1, 3.2, 3.3, 4.7, 6	Odyseus, M. (2009). "Education for Sustainability: Experiences from Greece." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 135(2): 70-74.
	Olsson, M. (2010). Supporting sustainable development through Microtraining. Engineering Education in Sustainable Development Conferences EESD 2010, Göteborg, Suède.

3.5	Déry, G., D. Bernier, et al. (2010), "L'ingénieur leader du développement durable : intégration du DD dans les projets d'ingénierie", Annonce de formation de l'Ordre des ingénieurs du Québec.
3.9	Pacheco, P., J. Motloch, et al. (2006). "Second Chance Game: local (university-community) partnerships for global awareness and responsibility." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 848-854.
	Palme, U. (2010). Good examples of education for sustainable development at Chalmers : achievements and limitations. <i>Engineering Education in Sustainable Development Conferences EESD 2010, Göteborg, Suède.</i>
3.1, 4.5	Paretti, M. C., L. D. McNair, et al. (2007). "Teaching technical communication in an era of distributed work: a case study of collaboration between US and Swedish students." <i>Technical Communication Quarterly</i> 16(3): 327-352.
3.2, 4.8, 6	Paten, C. J. K., N. Palousis, et al. (2005). "Engineering Sustainable Solutions Program: Critical Literacies for Engineers Portfolio." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(3): 265-277.
3.2, 6	Peet, D. J., K. F. Mulder, et al. (2004). "Integrating SD into Engineering Courses at the Delft University of Technology: The Individual Interaction Method." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 5(3): 278-288.
3.3, 3.9, 4.6	Perez-Foguet, A., S. Oliete-Josa, et al. (2005). "Development Education and Engineering: A Framework for Incorporating Reality of Developing Countries into Engineering Studies." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(3): 278-303.
3.5, 3.7	Pocock, J. B., Z. Mitchell, et al. (2009). One Approach to Incorporating Sustainable Design into Undergraduate Engineering Programs, ASCE.
1, 2, 4.2, 4.7, 5	Pritchard, J. and C. Baillie (2006). "How Can Engineering Education Contribute to a Sustainable Future?" <i>European Journal of Engineering Education</i> 31(5): 555-565.
4.3	Quist, J. (2007). Backcasting for a sustainable future. The impact after 10 years, Delft University of Technology. Ph.D.
4.3, 4.5, 4.8	Quist, J., C. Rammelt, et al. (2006). "Backcasting for sustainability in engineering education: the case of Delft University of Technology." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 868-876.
3.1	Ramalhoto, M. F. (2006). "Transforming Academic Globalization into Globalization for All." <i>European Journal of Engineering Education</i> 31(3): 349-358.
3.3, 4.7	Richter, D. M. and M. C. Paretti (2009). "Identifying Barriers to and Outcomes of Interdisciplinarity in the Engineering Classroom." <i>European Journal of Engineering Education</i> 34(1): 29-45.
4.1	Rickinson, M. and C. Lundholm (2008). "Exploring Students' Learning Challenges in Environmental Education." <i>Cambridge Journal of Education</i> 38(3): 341-353.
3.1, 3.3, 3.9, 4.5	Riley, D. R., C. E. Thatcher, et al. (2006). "Developing and Applying Green Building Technology in an Indigenous Community: An Engaged Approach to Sustainability Education." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 7(2): 142-157.

3.5	Salomone, T. A. (1995). What every engineer should know about concurrent engineering. New-York, M. Dekker.
2, 3.6	Sandin, P., M. Peterson, et al. (2002). "Five charges against the precautionary principle." Journal of Risk Research 5(4): 287-299.
3.1, 3.9, 4.5, 4.7, 4.8	Schafer, A. I. and B. S. Richards (2007). "From Concept to Commercialisation: Student Learning in a Sustainable Engineering Innovation Project." European Journal of Engineering Education 32(2): 143-165.
6	Schaffhauser, D. (2009). "Green Power." Campus Technology 22(8): 34-36.
4.7, 6	Schmitt, T. G. (2004). "EEE in changing times: new B/M study programs, increasing specialization and interdisciplinarity for fewer students." Water Science and Technology 49(8): 125-132.
3.1, 3.9, 4.7, 4.8, 5	Schneider, J., J. A. Leydens, et al. (2008). "Where Is "Community"?: Engineering Education and Sustainable Community Development." European Journal of Engineering Education 33(3): 307-319.
2, 4.5, 4.7	Sébastien, L. and C. Brodhag (1999). A la recherche de la dimension sociale du développement durable. Développement durable et territoire, Dossier 3 : Les dimensions humaine et sociale du Développement Durable.
3.2, 4.4	Segalas, J., D. Ferrer-Balas, et al. (2008). "Conceptual Maps: Measuring Learning Processes of Engineering Students Concerning Sustainable Development." European Journal of Engineering Education 33(3): 297-306.
3.2, 4.4	Segalàs, J., D. Ferrer-Balas, et al. (2010). "What do engineering students learn in sustainability courses? The effect of the pedagogical approach." Journal of Cleaner Production 18(3): 275-284
3.1, 4.1, 6	Segalas, J., D. Ferrer-Balas, et al. (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.
3.2	Seghezze, L. (2009). "The five dimensions of sustainability." Environmental Politics 18(4): 539-556.
3.5	Sharma, K. J. (2004). "Concurrent engineering in practice: a brief review." International Journal of Manufacturing Technology and Management 6(3-4): 334-344.
3.5, 3.7	Shu-Yang, F., B. Freedmann, et al. (2004). "Principles and practice of ecological design." Environmental Reviews 12: 97-112.
3.5, 3.7, 6	Slater, C. S., R. P. Hesketh, et al. (2007). "Expanding the frontiers for chemical engineers in green engineering education." International Journal of Engineering Education 23(2): 309-324.
3.2, 3.3, 3.9, 4.5	Smith, E. J., J. E. Mills, et al. (2009). "Using Wikis and Blogs for Assessment in First-Year Engineering." Campus-Wide Information Systems 26(5): 424-432.
3.7, 6	Splitt, F. G. (2004). "Engineering education reform: Signs of progress." International Journal of Engineering Education 20(6): 1005-1011.
2	Stables, A. (2006). "Language and Meaning in Environmental Education: An Overview." Environmental Education Research 12(3): 327-334.
3.1, 3.9, 4.6, 4.7	Steiner, G. and A. Posch (2006). "Higher education for sustainability by means of transdisciplinary case studies: an innovative approach for solving complex, real-world problems." Journal of Cleaner Production 14(9-11): 877-890.

3.6	Sterling, S. (2004). Higher education, sustainability and the role of systemic learning. Higher education and the challenge of sustainability curriculum. V. A. Corcoran P. Boston, Kluwer Academic Publishers.
	Svanström, M., Eden, M., Nyström,, Palme, U., Carlson, O., Knutson Wedel, M. (2010), Embedding of ESD in engineering education – experiences from Chalmers University of Technology. Engineering Education in Sustainable Development Conferences EESD 2010, Göteborg, Suède.
6	Taoussanidis, N. N. and M. A. Antoniadou (2006). "Sustainable Development in Engineering Education." <i>Industry and Higher Education</i> 20(1): 35-42.
3.1, 3.2, 6	Thom, D. (1998). Joint Conference on Engineering Education and Training for Sustainable Development (Paris, France, September 24-26, 1997). Final Report.
3.1, 3.9, 4.5, 4.8	Todd, R. H. and S. P. Magleby (2005). "Elements of a Successful Capstone Course Considering the Needs of Stakeholders." <i>European Journal of Engineering Education</i> 30(2): 203-214.
3.5	Tucker, D. and R. Hackney (2000). "Towards the integration of concurrent engineering environments within organisational strategy." <i>Journal of Management Development</i> 19(3): 179-189.
3.5, 3.6, 3.7, 3.8	Turner, S. (2009). "ASIT--A Problem Solving Strategy for Education and Eco-Friendly Sustainable Design." <i>International Journal of Technology and Design Education</i> 19(2): 221-235.
3.2	Udo, V. E. and P. M. Jansson (2009). "Bridging the gaps for global sustainable development: A quantitative analysis." <i>Journal of Environmental Management</i> 90(12): 3700-3707.
	UICN (1980). <i>Stratégie mondiale de la conservation</i> , UICN/PNUE/WWF, Gland, Suisse.
2, 3.6	UNESCO-Comest (2005). <i>The Precautionary Principle</i> . Paris, World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST).
6	University-Toronto (10-02-2010). "Sustainable infrastructure - civil engineering." from http://www.civ.utoronto.ca/sir/default.htm .
3.2, 3.3, 3.8, 4.7, 4.8	Van Kasteren, J. M. N. (1996). "Interdisciplinary Teaching within Engineering Education." <i>European Journal of Engineering Education</i> 21(4): 387-392.
3.3, 3.5, 5	Vanderburg, W. H. (2009). "Rethinking Engineering Design and Decision Making in Response to Economic, Social, and Environmental Crises." <i>Bulletin of Science, Technology & Society</i> 29(5): 421-432.
	Vandersteen, J., Mushtaq, U. (2010). The engineer as a local, not global, citizen. <i>The journal of Policy Engagement</i> . 2(2): 20-22.
3.2	Vann, J., P. Pacheco, et al. (2006). "Cross-cultural education for sustainability: development of an introduction to sustainability course." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 900-905.
3.1, 3.9, 4.7, 4.8	Vasiliev, V. N. and I. P. Gurov (1996). Interdisciplinary engineering education: A problem-oriented approach. <i>Frontiers in Education Fie'96 - 26th Annual Conference, Proceedings, Vols 1-3 - Technology-Based Re-Engineering Engineering Education</i> . M. F. Iskander, M. J. Gonzalez, G. L. Engelet al: 954-957.
6	Velasquez, L. E., N. E. Munguia, et al. (1999). "Education for Sustainable Development: The Engineer of the 21st Century." <i>European Journal of Engineering Education</i> 24(4): 359-370.

6	Velazquez, L., N. Munguia, et al. (2006). "Sustainable university: what can be the matter?" <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 810-819.
6	Velazquez, L., N. Munguia, et al. (2005). "Deterring Sustainability in Higher Education Institutions: An Appraisal of the Factors Which Influence Sustainability in Higher Education Institutions." <i>International Journal of Sustainability in Higher Education</i> 6(4): 383-391.
3.3, 4.2, 4.7	Von Blottnitz, H. (2006). "Promoting active learning in sustainable development: experiences from a 4th year chemical engineering course." <i>Journal of Cleaner Production</i> 14(9-11): 916-923.
1, 2, 3.2, 3.3, 4.2	Wareham, D., T. P. Elefsiniotis, et al. (2006). "Introducing Ethics Using Structured Controversies." <i>European Journal of Engineering Education</i> 31(6): 651-660.
3.1, 4.5, 4.7, 6	Watson, M. (1996). <i>Teaching To Learn: WAC, Composition, and Engineering Classrooms</i> .
	WFEO, "The WFEO model code of ethics", (2001).
2, 3.6	Wiener, J. B. and M. D. Rogers (2002). "Comparing precaution in the United States and Europe." <i>Journal of Risk Research</i> 5(4): 317-349.
3.2, 3.3	William, E. K. (2008). "General Education for Civil Engineers: Sustainable Development." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 134(1): 75-83.
2, 3.2, 3.3	Woodruff, P. H. (2006). "Educating engineers to create a sustainable future." <i>Journal of Environmental Engineering-Asce</i> 132(4): 434-444.
3.9, 4.7, 6	Wuori, P. A. (1987). "Engineering Education in Europe: Towards Co-Operation and Interdisciplinarity." <i>European Journal of Engineering Education</i> 12(3): 225-230.
6	Zbigniew, C. (2009). "Discussion of "General Education for Civil Engineers: Sustainable Development" by William E. Kelly." <i>Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice</i> 135(1): 57.

7 Annexes

7.1 Analyse détaillée des 6 articles sélectionnés

Articles	Sujets
Article 1 : (Lehmann et al., 2008) Section : 8.1.1 , p. 47	Apprentissage par projet à l'Université d'Aalborg pour favoriser le développement de compétences des futurs ingénieurs; composer avec des problèmes complexes, travailler avec les autres et être créatif pour envisager des solutions plus globales.
Article 2 : (McLaughlan, 2007) Section : 8.1.2 , p. 49	Stratégies actives et participatives (Représentation et délibération) Présentation et évaluation de 3 stratégies d'apprentissage actives et participatives pour apprendre à propos du développement durable et développer une capacité de penser systémique et globale. Objectif : provoquer une réflexion personnelle chez les étudiants et les amener à se former une perspective intégrée et interdisciplinaire sur les enjeux du développement durable. Stratégies : Simulation par jeux de rôle (en ligne), controverse structurée , construction de scénarios .
Article 3 : (Lourdel et al., 2007) Section : 8.1.3 , p. 54	Utilisation de cartes cognitives ou conceptuelles comme outil de représentation et d'évaluation à propos du développement durable. Un outil pour mesurer la complexité de la vision des étudiants Objectif : Développer une vision interdisciplinaire et intégrée du développement durable.
Article 4 : (Richter and Paretto, 2009) Section : 8.1.4 , p. 58	Recherche sur les barrières d'apprentissage, résultats et approches concrètes pour le développement de l' interdisciplinarité .
Article 5 : (Segalàs et al., 2010) Section : 8.1.5 , p. 63	Projet de recherche de 5 ans pour comparer six(6) approches d'apprentissage dans des cours d'introduction au développement durable en ingénierie. Analyse de 10 cours en Europe.
Article 6 : (Emilsson and Lilje, 2008) Section : 8.1.6 , p. 65	Présentation d'une stratégie d'apprentissage pour développer les compétences sociales des futurs ingénieurs dans la perspective d'améliorer les relations professionnelles.

7.1.1 Article 1 : Lehmann (2008) - Stratégie par projets

Catégorie	Éléments de l'article
Objectifs d'enseignement	<p>Compétence générale : savoir composer avec des problèmes complexes, globaux et interdisciplinaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> • « Résoudre des problèmes complexes qui ne se limitent pas à résoudre un problème technique isolé, mais également à considérer des questions sociales et des systèmes plus larges aux limites plus ou moins bien définies; capacité d'identifier les aspects non techniques des problèmes, les interactions entre ces aspects et les solutions possibles » • « Consulter les autres pour mieux agir; analyser et développer des relations cognitives et sociales avec les autres dans le but de faciliter le développement de technologies et l'analyse de leurs impacts positifs et négatifs sur la société; compétences interdisciplinaires de coopération, de communication, de gestion de projets et d'apprentissage continu dans divers cadres sociaux, culturels et globaux » • « Être créatif pour envisager des solutions novatrices, plus globales; recherche de solutions multidimensionnelles plutôt que d'une unique bonne réponse »
Stratégie(s) d'enseignement	<p>Approche par projets (« Project-Based Learning », PBL).</p> <p>L'auteur rapporte l'expérience de l'Université d'Aalborg au Danemark, où tous les programmes sont organisés autour d'une approche par projets. Concrètement, deux tiers de l'enseignement s'effectue par du travail sur des projets. « Cette stratégie permet l'apprentissage de connaissances interdisciplinaires et le développement de compétences importantes pour agir en développement durable. Cette approche interdisciplinaire et centrée sur l'étudiant vise le développement chez les étudiants de la capacité d'analyser et d'écrire clairement, d'appliquer la théorie aux problèmes pratiques et de maîtriser le difficile art de la collaboration à l'intérieur d'un groupe ». « Cette approche rejoint le principe d'apprendre par la pratique avec des problèmes réels et souvent avec un contact direct avec des compagnies ou des organisations à l'extérieur de l'université. Ce que les étudiants trouvent très intéressant. » Il y a ouverture de l'université vers l'extérieur, avec des projets concrets, plus près de la pratique de l'ingénieur.</p> <p>Outre ces aspects, les étudiants ont « des cours sur le développement des compétences procédurales : apprentissage des méthodes de coopération, de planification du processus d'apprentissage et de développement de son propre système de gestion de projet. Il y a exploration de différents types d'outils, mais les étudiants sont encouragés à développer leur propre système. »</p> <p>L'évaluation repose sur une présentation du projet et des examens écrits.</p>
Protocole de recherche	<p>Pour évaluer cette stratégie d'apprentissage à propos du développement durable, les auteurs ont analysé quelques projets et rapports d'étudiants, et eu des discussions sur les connaissances interdisciplinaires acquises et les compétences développées.</p>

<p>Principaux résultats</p>	<p>L'éducation en ingénierie est plus articulée et développe les compétences professionnelles escomptées.</p> <p>Les étudiants ont effectivement développé diverses compétences procédurales en plus de connaissances techniques et des compétences à travers le processus d'apprentissage.</p> <ul style="list-style-type: none"> • résolution de problèmes, gestion de projet, et analyse contextuelle (Procédures) • connaissances des sujets, compétences techniques, savoirs interdisciplinaires et gestion des connaissances. (Contenus) • collaboration, communication (oral et écrit), gestion et planification de projet. (Apprentissage collaboratif) <p>Autres résultats :</p> <ul style="list-style-type: none"> • « L'approche promeut et fournit les liens et la compréhension d'autres dimensions du potentiel de développement durable à travers un apprentissage en contexte et interdisciplinaire. L'approche est intégratrice. Cette approche est nécessaire aux ingénieurs pour être capable de discuter, comprendre et décider de l'équilibre des solutions envisagées. » • « L'approche ouvre également la voie à l'innovation. » • « Apprentissage au bénéfice de la communauté, des facultés et des étudiants. » • « La leçon clé apprise à l'université d'Aalborg concernant le développement durable et l'enseignement en ingénierie est que pour acquérir des connaissances à propos d'un besoin ou d'un problème, chacun a besoin de collaborer avec un ensemble de partenaires de la communauté (compagnies locales, politiciens, membres d'organismes, etc.), étudiants en ingénierie, les départements, etc. <p>« Le message principal présenté est que les connaissances pour le développement durable est peut-être moins concerné par le traditionnel « savoir-faire », mais beaucoup plus par les « savoirs qui va faire », « savoir quoi faire » et « savoir pourquoi faire ».</p>
-----------------------------	---

7.1.2 Article 2 : McLaughlan (2007) – Stratégies actives et participatives

Catégorie	Éléments de l'article
Principes	<p>« Intégrer du développement durable au niveau du sujet de cours requiert à la fois un contenu en développement durable et des stratégies d'apprentissage ». Selon lui « il est important de réaliser que le développement durable concerne autant les valeurs et l'éthique que la science et la technologie ». Ainsi « l'éducation au développement durable requiert des stratégies d'apprentissage pour créer une perspective intégrée et interdisciplinaire. » De plus, il croit que « ces méthodes d'apprentissage actives et participatives ont clairement leur place dans les programmes d'ingénierie si une transformation des pensées, des valeurs et des actions est requise pour un progrès vers le développement durable. »</p>
Compétences, connaissances	<ul style="list-style-type: none"> • Acquérir les connaissances liées à la discipline. • Apprendre à propos du développement durable, un concept global et transdisciplinaire. • Savoir travailler en équipe : maîtriser le processus de prise de décision en équipe, le leadership, la communication de groupe et la négociation. • Développer une capacité de penser systémique, globale ou holistique : <ul style="list-style-type: none"> ○ « Les ingénieurs doivent développer cette capacité d'utiliser des données qualitatives qui sont nécessaires pour décrire des dimensions critiques de la durabilité telles que la culture, les valeurs, les styles de vie et les organisations sociales. » ○ « Les ingénieurs doivent considérer les interactions et l'évolution dynamique des systèmes sociaux, économiques et naturels, aller au-delà des secteurs et thèmes spécifiques comme la population, l'économie, l'eau, la nourriture, l'énergie, le climat, et analyser les interconnexions, les principales influences, et les changements globaux, comprendre que le processus pour atteindre la durabilité est ouvert et itératif, et implique une participation scientifique, politique et publique. » ○ « Le développement d'une perspective intégrée requiert l'intégration de connaissances dérivées de plusieurs disciplines. » (Interdisciplinarité).
Stratégie(s) d'enseignement	<ul style="list-style-type: none"> • Stratégies d'apprentissage capables d'induire les réflexions personnelles nécessaires et le développement d'une perspective intégrée et interdisciplinaire du développement durable chez les étudiants. • Stratégies d'apprentissage actives et participatives qui demandent une attitude plus discursive et collaboratrice pour solutionner des problèmes et qui permettent de percevoir et de concilier la diversité des valeurs » Des stratégies qui combinent des éléments de <i>représentation</i> (capacité de regarder une situation sous différentes perspectives) et de <i>délibération</i>. Ces stratégies seraient appropriées pour des cours qui impliquent des enjeux sociaux complexes, par exemple : « technology assessment », « risk assessment », « participatory integrated assessment », et « participatory policy analysis. » • Il existe des méthodes pour structurer un processus de groupe dans lequel des non-experts jouent un rôle actif et articulent leurs connaissances, leurs valeurs et leurs préférences pour différents buts. Ces méthodes utilisées incluent : « Delphi », la construction et analyse de scénarios, les jeux et simulations, le

Stratégie(s) d'enseignement (suite)	<p>modelage participatif, les « focus group », les jurés citoyens, le « consensus conferencing » et la décision participative.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La délibération peut prendre la forme d'un discours pour tenter de faire consensus parmi les participants. Les représentations multiples sont nécessaires parce qu'aucune ne peut à elle seule complètement cerner tout un système ou une situation. <p>Exemple de stratégies utilisées avec des étudiants en ingénierie :</p> <p>(1) Simulation par jeux de rôle (Mekong e-Sim, jeu en ligne)</p> <p>Le jeu en ligne est utilisé pour explorer les enjeux liés au développement durable dans la région de Mekong en Asie du sud-est. Les étudiants s'engagent dans des débats et des négociations sur les enjeux de propositions de développement d'importantes infrastructures. L'activité implique des étudiants de 2e et 3e années en géographie et en génie de différentes universités géographiquement distantes. Des équipes de 4 à 6 étudiants s'occupent de développer et d'assurer le rôle d'un personnage ou d'un acteur dans le jeu. Le jeu se déroule en quatre étapes : la période de familiarisation, l'étape d'interaction, le forum public puis le compte rendu. Les objectifs spécifiques en 2002 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifier les dimensions politiques, sociales, économiques et scientifiques pour une prise de décision dans un contexte de conflit dans la gestion des ressources naturelles. • Identifier les responsabilités et réponses appropriées des personnages dans la simulation. • Développement des compétences de communication, recherche, pensée critique, négociation et de prise de décision, et apprécier la diversité des cultures et des approches. • Utiliser ses compétences en technologie de l'information et de télécommunication. <p>(2) Controverse structurée</p> <p>Les étudiants s'engagent dans une controverse en défendant un point de vue, changent de perspective, pour finalement se construire une opinion sur le sujet. La controverse structurée permet de promouvoir diverses perspectives en prenant des enjeux publics controversés en sciences et en technologies. Les étudiants transforment des connaissances en arguments, analysent de façon critique des positions, et voient des enjeux sous différentes perspectives et en font une synthèse.</p> <p>Compétences spécifiques développées : des compétences de gestion de conflits, de pensée critique et de collaboration.</p> <p>Concrètement chaque forum implique entre 30 et 50 étudiants qui représentent entre 10 et 14 personnages ou acteurs, en équipe de 3 ou 4. La démarche se fait en trois étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Préparation de la position de son acteur par rapport à l'enjeu. Présentation sur le forum de leur acteur en décrivant ses responsabilités, son point de vue général et ses valeurs. 2. L'équipe défend la position de son acteur sur le forum électronique en
---	--

Stratégie(s) d'enseignement (suite)	<p>répondant aux autres acteurs et en essayant de les convaincre de leur perception, de leur position, de leur point de vue.</p> <p>3. Les étudiants font une réflexion critique verbale et écrite pour reconnaître ce qu'ils ont appris. Dans leur rapport ils doivent sortir du rôle de leur acteur et présenter leurs arguments qui supportent et/ou réfutent la perspective de leur acteur.</p> <p>(3) Construction de scénarios</p> <p>Processus interactif d'un groupe qui s'engage à identifier les enjeux clé, à créer et explorer des scénarios dans le but d'apprendre sur l'environnement extérieur et intégrer les façons de prendre des décisions des organisations. Il existe plusieurs approches similaires qui permettent la construction de perspectives interdisciplinaires et intégrées.</p> <p>En génie cette méthode a été adaptée avec des exercices pour projeter dans le temps des solutions technologiques. Des scénarios technologiques sont créés pour qu'ils tiennent compte des profils sociaux et biophysiques des pays. Les sujets peuvent être très variés : technologies éducatives, transport, eau, ingénierie spatiale, gestion des déchets, commerce électronique, production, système informatique gouvernemental, énergie, etc. De plus, les données sur les pays sont prises à partir d'un jeu de simulation de rôle en ligne. (projet IDEELS)</p> <p>L'activité se déroule en équipe de 4 étudiants, formée par le superviseur pour maximiser la diversité des disciplines représentées dans chaque équipe. Trois étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifier des facteurs clés (sociaux, techniques, environnementaux, économiques et politiques) pertinents pour le sujet et présenter ces points autres équipes. 2. Intégration des facteurs clés avec les caractéristiques du pays. Présentation sous forme matricielle et description écrite. 3. Identifier les enjeux qui vont surgir si des consensus doivent être obtenus entre des pays pour l'intégration d'une technologie particulière. Cette dernière étape conduit inévitablement les étudiants à prendre conscience des différences de valeurs. <p>Objectifs spécifiques:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensibiliser les étudiants aux facteurs économiques, technologiques, sociaux, politiques et environnementaux qui ont des impacts sur les thèmes choisis. • Travailler avec des données qualitatives et quantitatives. • Reconnaître où les sources de conflit ou de controverse peuvent survenir en essayant d'atteindre un consensus.
Protocole de recherche	Cours dans lequel a eu lieu la recherche: « Technology assessment ». Il s'agit d'un cours obligatoire au premier cycle qui regroupe entre 100 et 200 étudiants répartis dans différents programmes : génie civil, génie civil et environnemental, génie informatique de systèmes, génie électrique, génie logiciel et télécommunication. Le cours a pour objectif d'explorer les enjeux à propos de la science, de la technologie et de la société. On y propose des problèmes qui sont souvent complexes, aux multiples facettes, mal

<p>Protocole de recherche (suite)</p>	<p>définis et chargés de jugements de valeur. Donc le cours permet un survol des différentes approches pour évaluer la technologie pour informer la politique publique et pour évaluer les impacts.</p> <p>Évaluation des stratégies (1) et (2) : L'évaluation a été effectuée en considérant la rétroaction des étudiants et l'analyse de leurs performances aux différentes tâches d'évaluation. Le sondage écrit auprès des étudiants a permis d'évaluer leur perception de leur niveau d'atteinte des objectifs avec le jeu. Utilisation d'une échelle de Lickert de 1 (fortement en désaccord) à 5 (fortement en accord). Pour mesurer le niveau d'atteinte des objectifs, il y a eu analyse des comptes rendus selon les principes de taxonomie SOLO. La méthode décrit 5 niveaux d'apprentissage, de l'incompétence à l'expertise qui repose sur la complexité des réponses. Les plus hauts niveaux de réponses démontrent l'intégration d'idées et l'identification d'une structure générale suivie de l'application de cette structure à de nouveaux contextes.</p> <p>Évaluation de la stratégie (3) : Rétroaction informelle des étudiants.</p>
<p>Principaux résultats</p>	<p>(1) Simulation par jeux de rôle (Mekong e-Sim, jeu en ligne)</p> <p>Adoption d'un rôle, analyse critique de la situation, défendre une position et faire une synthèse de leur compréhension de la situation.</p> <p>« Les étudiants sont particulièrement en accord avec l'efficacité de la méthode pour combler les objectifs relatifs à la prise de conscience des multiples dimensions dans une prise de décision, à la connaissance des organisations dans la région et à la prise de conscience des valeurs. »</p> <p>« L'analyse des performances montre que 75% de la cohorte ont produit des réponses d'un niveau au moins multi-structuré ou mieux. »</p> <p>« Ce jeu favorise la considération de perspectives multiples des problèmes et encourage le transfert à de nouveaux contextes. Les étudiants ont également pris conscience de l'influence de leur système de valeurs sur leurs comportements durant l'activité. »</p> <p>« Chacun a reconnu les compétences des autres étudiants provenant de disciplines différentes. Les géographes ont apprécié les considérations techniques des ingénieurs et les ingénieurs ont apprécié les considérations politiques, sociales et environnementales des géographes. »</p> <p>« Prise de conscience des différents aspects des problèmes complexes d'ingénierie et les relations. »</p> <p>« Richesse professionnelle et contextuelle due aux liens plus forts avec les simulations.»</p> <p>« Développement d'une capacité de voir des perspectives multiples par la création de différents personnages et acteurs, et la recherche de connaissances par des sources variées. »</p> <p>« L'étape d'interaction donne aux étudiants l'opportunité de s'immerger davantage pour mieux formuler et rendre opérationnelles leur compréhension de leurs acteurs. »</p>

Principaux résultats (suite)	<p>(2) Controverse structurée</p> <p>« Les étudiants sont très en accord avec l'efficacité de la méthode pour rencontrer les objectifs et développer des compétences comme la considération de perspectives multiples, la pensée critique et la recherche de connaissances par des sources variées. »</p> <p>« Le développement de la pensée critique se fait par l'étape dans laquelle ils doivent supporter et rejeter la position de leur acteur. »</p> <p>« De façon générale, ils considèrent que cet exercice est plus près du débat dans la vraie vie. Par contre la controverse structurée se concentre moins sur le contexte et l'environnement de la prise de décision que le jeu de simulation. »</p> <p>« Outre le fait que le groupe implique des ingénieurs de différentes disciplines, dans chaque cas la diversité provient de la formation antérieure de chaque cohorte, la nature du problème et l'adoption de rôles. Il est estimé que cela constitue une diversité suffisante pour produire les résultats d'apprentissage escomptés à propos du développement durable. »</p> <p>(3) Construction de scénarios</p> <p>« Selon les étudiants les exercices étaient pertinents pour développer leur compréhension des relations sociotechniques. Développement d'une expertise particulière en travaillant avec les données qualitatives sociales et biophysiques pour décrire la relation entre les enjeux technologiques et les sociétés sur lesquelles elles auront des impacts. »</p> <p>« Il y a eu beaucoup de commentaires sur les débats que les étudiants ont eus lorsqu'ils ont tenté d'obtenir un consensus en conciliant développements technologiques et caractéristiques sociétales. »</p> <p>« Cette méthode est un succès pour inclure la formation de représentations et de la délibération. »</p> <p>Point négatif : « Structure d'interaction plus faible entre les équipes d'étudiants, et les données proviennent principalement du professeur plutôt que des autres équipes. »</p> <p>Résultats globaux</p> <p>Selon McLaughlan (2007), « ces méthodes d'apprentissage actives et participatives ont clairement leur place dans les programmes d'ingénierie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • pour un progrès vers le développement durable. • pour développer et démontrer la compréhension des multiples dimensions, perspectives (sociale, technique, environnementale, économique, politique) des activités complexes en ingénierie, et pour intégrer les diverses données et valeurs qui se superposent à ces perspectives. • pour développer des connaissances en développement durable, créer des perspectives intégrées et interdisciplinaires et fournir aux étudiants des techniques qui sont authentiques. »
------------------------------	---

Article 3 : Lourdel (2007) – Stratégie : Cartes conceptuelles

Catégorie	Éléments de l'article				
Principe	«... la complexité (et la multidisciplinarité) du développement durable exige de nouveaux outils de représentation et d'évaluation de l'apprentissage. » Son article traite des cartes cognitives ou conceptuelles comme un outil d'évaluation pour mesurer la complexité (intégration) de la vision que les étudiants ont du développement durable.				
Compétences, connaissances	Créer chez les étudiants une vision interdisciplinaire et intégrée du développement durable.				
Stratégie(s)	<p>Lourdel utilise les <i>cartes cognitives</i> et une méthode d'analyse pour évaluer la compréhension et l'impact d'un cours d'introduction en développement durable sur les étudiants. À la fin d'une session, on demande aux étudiants d'écrire tous les termes qu'ils associent au développement durable puis de les relier entre eux par des flèches. Ce qui forme des cartes cognitives. Après avoir montré un exemple de carte construite autour d'un autre thème, 5 à 10 minutes sont accordées aux étudiants pour effectuer leur carte.</p> <p>En pratique, il a été demandé à dix étudiants de 3e année en ingénierie de l'environnement de l'école des Mines de St-Étienne (ENMSE) en France, de construire une carte cognitive, quatre mois après avoir terminé une formation en développement durable. Cette formation consistait en 12 h de cours théorique et 20h de jeux de simulation dans le but de développer une vision concrète des enjeux de développement durable en relation avec un projet industriel. (Lourdel, 2004)</p>				
Protocole de recherche	<p>L'évaluation de ces cartes est basée sur une approche par catégorie sémantique, dérivée de celle utilisée par Legrand (2000) et adaptée pour l'enseignement au développement durable. L'exercice consiste à analyser chacune des cartes en comptabilisant, dans un premier temps, le nombre mots pour chacune des classes définies ci-dessous.</p> <table border="1" data-bbox="462 1276 1409 1801"> <tbody> <tr> <td data-bbox="462 1276 914 1528">Ces classes constituent les 3 piliers du développement durable. L'analyse de l'importance relative du nombre de mots dans chacune des catégories permet de constater si le concept de développement durable a été approprié par les étudiants et traduit en idées concrètes.</td> <td data-bbox="914 1276 1409 1528"> Classe 1 (C1): aspects sociaux et culturels. Classe 2 (C2): Aspects environnementaux Classe 3 (C3): Aspects économiques, scientifiques et techniques. </td> </tr> <tr> <td data-bbox="462 1528 914 1801">Classes qui évoquent la complexité du concept : multidisciplinarité, disparité spatiale, relations temporelles (équité générationnelle), durabilité, principes de prévention et de précaution, solidarité, générations futures</td> <td data-bbox="914 1528 1409 1801"> Classe 4 (C4): approches multidimensionnelles du développement durable. Classe 5 (C5): Dimensions procédurales et politiques. Classe 6 (C6): Acteurs –dimension participative, et autres mots non inclus dans les autres catégories. </td> </tr> </tbody> </table>	Ces classes constituent les 3 piliers du développement durable. L'analyse de l'importance relative du nombre de mots dans chacune des catégories permet de constater si le concept de développement durable a été approprié par les étudiants et traduit en idées concrètes.	Classe 1 (C1): aspects sociaux et culturels. Classe 2 (C2): Aspects environnementaux Classe 3 (C3): Aspects économiques, scientifiques et techniques.	Classes qui évoquent la complexité du concept : multidisciplinarité, disparité spatiale, relations temporelles (équité générationnelle), durabilité, principes de prévention et de précaution, solidarité, générations futures	Classe 4 (C4): approches multidimensionnelles du développement durable. Classe 5 (C5): Dimensions procédurales et politiques. Classe 6 (C6): Acteurs –dimension participative, et autres mots non inclus dans les autres catégories.
Ces classes constituent les 3 piliers du développement durable. L'analyse de l'importance relative du nombre de mots dans chacune des catégories permet de constater si le concept de développement durable a été approprié par les étudiants et traduit en idées concrètes.	Classe 1 (C1): aspects sociaux et culturels. Classe 2 (C2): Aspects environnementaux Classe 3 (C3): Aspects économiques, scientifiques et techniques.				
Classes qui évoquent la complexité du concept : multidisciplinarité, disparité spatiale, relations temporelles (équité générationnelle), durabilité, principes de prévention et de précaution, solidarité, générations futures	Classe 4 (C4): approches multidimensionnelles du développement durable. Classe 5 (C5): Dimensions procédurales et politiques. Classe 6 (C6): Acteurs –dimension participative, et autres mots non inclus dans les autres catégories.				

<p>Protocole de recherche (suite)</p>	<p>Pour effectuer une comparaison préliminaire, 17 chercheurs du département de Science, Information et Technologie pour l'environnement (SITE) de l'ENMSE, ont également construit des cartes cognitives. Ces chercheurs étaient également les professeurs de ces étudiants.</p> <p>Les données ont fait l'objet de divers traitements, dont la mise en graphique pour juger de l'équilibre des visions par rapport aux différentes classes ou pour identifier les aspects négligés.</p>
<p>Principaux résultats</p>	<p>Analyse par décompte des mots.</p> <p>L'analyse des cartes cognitives montre « que la perception du développement durable par les étudiants se concentre principalement sur des aspects environnementaux et économiques au début du cours. Or après le cours en développement durable, une augmentation du nombre de mots utilisés dans chaque catégorie (aspects sociaux et culturels, acteurs, principes de développement durable et allusion à la complexité, dimensions temporelles et spatiales) est notée. Leurs visions semblent plus riches et larges. Ils améliorent leur perception du développement durable. »</p> <p>« Seulement 7 des 17 chercheurs ont utilisé des mots pour l'ensemble des catégories sémantiques. Du côté des étudiants seulement 4 sur 10. Il est rare qu'une seule personne puisse citer toutes les catégories sémantiques. Il semble que la compréhension du concept se concentre la plupart du temps sur plusieurs aspects spécifiques. Cette observation souligne l'intérêt de faire travailler les étudiants ensemble pour leur permettre d'acquérir un éventail plus large d'aspects du développement durable. »</p> <p>« Chez les chercheurs, ce sont les catégories 6 et 5 qui obtiennent les plus faibles moyennes de nombre de mots. Les approches procédurales et politiques ne sont pas des sujets de recherche dans cette école et il semble logique que les chercheurs utilisent peu de ces mots. »</p> <p>« Les étudiants utilisent différentes définitions et termes pour décrire le développement durable. Cet élément confirme leur hypothèse à savoir que le développement durable ne peut pas être enseigné comme un nouveau domaine avec un point de vue spécifique. <i>L'enseignement du développement durable doit faciliter ouvertement l'expression de différents points de vue et introduire une nouvelle façon de penser.</i> Les méthodes interactives comme les jeux de simulation peuvent aider les étudiants à s'exprimer et à se construire leur propre point de vue du développement durable. L'utilisation de carte cognitive peut aussi faciliter la discussion au sujet de la perception du développement durable. »</p> <p>« Les écarts-types des moyennes sont élevés, les cartes entre les chercheurs sont très différentes et pourraient être le reflet de la grande diversité des thèmes de recherche à l'intérieur du département. (développement durable, meilleures solutions technologiques, modélisation de la pollution de l'air, risques industriels, etc.) »</p>

<p>Principaux résultats (suite)</p>	<p>« De façon générale, il y a peu de mots dans la catégorie 6 reliée aux acteurs. »</p> <p>Analyse des relations holistiques Pour chaque carte il y a eu décompte du nombre de flèches qui relie des mots de différentes catégories. (Les liens vers le mot « développement durable » ne sont pas comptabilisés.) Ce type d'analyse fournit un aperçu du degré de complexité et des interrelations qu'une personne perçoit inconsciemment entre les différents aspects d'une notion. (pragmatique, abstraite, procédurale et approche participative) Par conséquent, plus il y a de liens entre des mots de différentes catégories, meilleure est la compréhension de la complexité et des aspects multidisciplinaires du développement durable. Une telle carte représente une vision holistique du développement durable. »</p> <p>« Le nombre moyen de ces liens est 2.5 fois plus élevé chez les chercheurs que chez les étudiants. Cette observation est cohérente avec des observations d'autres auteurs qui disent que la connaissance des experts semble plus rangée, et plus fortement organisée dans des représentations hiérarchiques. »</p> <p>« Présence de relations circulaires plus élevée dans les cartes de chercheurs que chez les étudiants. Un plus grand nombre de ces relations implique une construction plus complexifiée du développement durable. Il est assumé que plus le nombre de liens intercatégories est élevé, plus la vision de la personne sera complexe. Par conséquent, on peut supposer que les étudiants ont acquis une vision holistique concernant les défis du développement durable. »</p> <p>« La complexité et l'aspect multidisciplinaire de ce concept ne sont pas facilement compréhensibles ». (Hageman et al., 2002) Toutefois, les cartes cognitives sont pertinentes pour évaluer les représentations que se font les étudiants du développement durable. « Elles permettent de mettre en évidence les améliorations de perception du développement durable due à la formation. »</p> <p>« La diversité des cartes dépend des expériences d'enseignement des professeurs, et des valeurs, attitudes et perceptions de chacun. »</p> <p>Avantages des cartes conceptuelles ou cognitives:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluer le niveau de compréhension du concept de développement durable par les étudiants. Identifier les dimensions perçues, prédominantes, ou omises. Identifier les connaissances des étudiants • Vérifier leurs habiletés à comprendre les relations entre les différentes dimensions. • Percevoir l'évolution de la structure des connaissances des étudiants. • Introduire la métacognition²². Les professeurs peuvent aider les étudiants à mieux comprendre leurs cartes. Discuter de sa carte avec d'autres étudiants peut s'ouvrir à d'autres questions sur sa façon de penser,
-------------------------------------	---

²² Comprendre comment on apprend pour mieux apprendre.

Principaux résultats (suite)	<p>d'organiser les idées, sur l'évolution de ses idées, connaissances, valeurs et motivations</p> <ul style="list-style-type: none">• Les étudiants retiennent des connaissances plus facilement parce qu'elles sont reliées entre elles.• Identifier des connaissances initiales, erronées ou partielles (utiles pour le professeur). Évolution de leur compréhension. • Illustrer les différences de représentations entre les étudiants et les professeurs. <p>L'Article de Lourdel, 2005 relate une expérience effectuée avec 32 étudiants qui ont fait une carte cognitive au tout début d'un cours, puis une autre carte à la toute fin. La comparaison entre les deux cartes a révélé une progression des étudiants au niveau de la connaissance, de la compréhension et de la motivation comme résultat de la formation. Les étudiants utilisent plus de mots dans chacune des catégories, plus de catégories sémantiques et dessinent plus de liens. Bref, leurs visions étaient plus riches et larges.</p>
------------------------------	--

7.1.3 Article 4 : Richter (2009) – Compétence : interdisciplinarité

Catégorie	Éléments de l'article
Principe	<p>Richter, juge « que les professeurs manquent de recherches rigoureuses au sujet des barrières d'apprentissage, des résultats et des approches concrètes pour le développement de l'interdisciplinarité. »</p> <p>Pertinence de l'interdisciplinarité dans le lien entre développement durable et ingénierie.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des problèmes, avec en perspective le développement durable, requiert « le développement d'une perspective intégrée et par conséquent l'intégration de connaissances dérivées de plusieurs disciplines. » (McLaughlan, 2007) • Harrison et al. 2007 cite plusieurs rapports de l'industrie et de l'Académie Royal qui identifie la collaboration interdisciplinaire comme compétence clef pour les ingénieurs au Royaume-Uni. • « Aux États-Unis trois rapports gouvernementaux : <i>Educating the Engineer of 2020</i>, <i>Rising above the Gathering Storm</i> et <i>Facilitating Interdisciplinary Research</i>, plaident pour la préparation d'ingénieurs et de scientifiques qui peuvent travailler dans des environnements interdisciplinaires créatifs. » Les critères d'accréditation exigent maintenant « des compétences pour fonctionner dans des équipes multidisciplinaires » et « une large éducation nécessaire pour comprendre l'impact des solutions en ingénierie dans un contexte global, économique, environnemental et sociétal. » (Richter, 2009) • « assurer les besoins en eau des pays en développement, créer des solutions énergétiques nouvelles et innovatrices pour alimenter l'économie internationale, faire face aux changements climatiques et autres défis du développement durable ». Ces défis complexes « requièrent une collaboration continue parmi les professionnels des divers domaines de l'ingénierie et des sciences, aussi bien que des experts en affaires, en économie, en politique, en planification urbaine et rurale, et au-delà. De telles collaborations doivent (...) s'opérer dans une démarche continue, dynamique et intégrative, d'apprentissage et d'échange d'idées et d'information. » (Richter 2009)
Compétences, connaissances	<p>Connaissances et collaboration interdisciplinaires.</p> <p>Pour décrire cette compétence de « capacité à l'interdisciplinarité », la littérature fait également usage des expressions suivantes : « compétences interdisciplinaires » ou « capacité de réussir dans un contexte interdisciplinaire ». Quelqu'en soit l'appellation, les différentes perceptions du concept se rejoignent :</p> <p>Le « <i>Committee on Facilitating Interdisciplinarity Research</i> » (2005, p.26) définit la recherche interdisciplinaire comme un mode de recherche par équipe ou individuelle qui intègre des informations, des données, des techniques, des outils, des perspectives, des concepts et des théories de deux ou plusieurs disciplines ou domaines de connaissances spécialisés pour faire avancer la compréhension fondamentale ou pour résoudre des problèmes dont la solution est au-delà de la portée d'une seule discipline. »</p> <p>L'interdisciplinarité « est caractérisée par les compétences des collaborateurs pour</p>

<p>Compétences, connaissances (suite)</p>	<p>identifier, intégrer, et valoriser les multiples perspectives et pour apprendre les uns des autres de façon que cela modifie leur propre compréhension et pratiques. » « L'apprentissage interdisciplinaire implique plus que de simplement additionner de nouvelles connaissances à d'autres domaines, mais aussi comprendre et intégrer de nouvelles valeurs et approches à la définition et à la résolution du problème. »</p>
<p>Stratégie(s) de recherche</p>	<p>Question 1 : Quels sont les objectifs d'apprentissage mesurables et concrets qu'une faculté peut établir pour développer les compétences transférables de la collaboration interdisciplinaire. L'auteur répond à cette question en effectuant une revue de la littérature sur le thème de l'interdisciplinarité. Il fait une analyse des articles de la conférence de 2007 de l'American Society for Engineering Education (ASEE) qui révèle que 86 articles traitaient du thème de l'interdisciplinarité.</p> <p>Question 2 : Quelles barrières empêchent les étudiants en génie d'atteindre ces objectifs d'apprentissage et de fonctionner avec succès dans un contexte interdisciplinaire?</p> <p>Étude de cas : « L'étude de cas concerne un cours de 3 crédits sur l'analyse de cycle de vie (LCA), une technique analytique quantifiable utilisée en conception pour minimiser les impacts environnementaux de produits, procédés ou systèmes. Ce type d'analyse est approprié à l'interdisciplinarité, car il rassemble des connaissances et approches d'une grande variété de disciplines. »</p> <p>Les méthodes d'enseignement incluent des cours magistraux, des lectures, des devoirs et un projet de groupe.</p> <p>Formation d'équipes de 5 ou 6 étudiants, (pas plus de 3 d'une même discipline). Le cours fournit deux expériences d'apprentissage interdisciplinaire :</p> <p>(1) les étudiants rencontre du nouveau contenu concernant l'analyse du cycle de vie qui exige d'eux de sortir de ce qu'ils connaissent pour apprendre de nouveaux outils, concepts, approches et perspectives qui étendent les limites disciplinaires, et (2) l'équipe s'engage dans une collaboration interdisciplinaire autour de l'utilisation de l'analyse du cycle de vie.</p> <p>Trente étudiants sont impliqués, (3e et 4e année) et proviennent de l'une ou l'autre des quatre disciplines du génie suivantes : génie industriel et système, sciences des matériaux, mécanique, civil et environnement.</p>
<p>Protocole de recherche</p>	<p>Quatre sources de données pour l'étude de cas :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sondage à la mi-session: questions réflexives concernant le contenu, la pédagogie et le programme. 2. Sondage après la fin du cours; questions ouvertes concernant les perceptions des étudiants et les attitudes au sujet du cours, du contenu et des travaux. 3. Observations sur le déroulement en classe et sur le travail d'équipe pour percevoir les réactions des étudiants relativement au contenu du cours et aux méthodes d'enseignement. 4. Entrevues semi-structurées effectuées avec des étudiants sur une base volontaire

	<p>pour évaluer leur compréhension du sujet, la pertinence du sujet avec leur discipline, leurs motivations pour leur engagement dans ce cours et leurs réflexions sur les expériences du cours. (En raison d'un événement inattendu, cette étape a eu lieu 7 mois après la fin du cours.)</p>
--	--

Principaux résultats	<p>Question 1</p> <p>De façon générale les objectifs d'apprentissage trouvés sont de 3 niveaux :</p> <p>Travailler en équipes multidisciplinaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Donner lieu à différentes idées et approches pour solutionner un problème. • Travailler avec d'autres ayant des connaissances antérieures différentes pour poser et évaluer les solutions à des problèmes complexes. • Permettre de réaliser et d'apprécier diverses compétences des autres membres de l'équipe. • Promouvoir la collaboration interdisciplinaire. • Améliorer la communication <p>Intégrer et synthétiser des informations provenant de plusieurs disciplines.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Appliquer des stratégies de résolution de problèmes provenant de plusieurs disciplines aux problèmes complexes impliquant des systèmes naturels et humains. <p>Compétences à travailler efficacement dans un environnement multidisciplinaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Communiquer, négocier à l'intérieur et entre les disciplines pour rencontrer les exigences du projet. <p>Au terme de leur étude, les auteurs ont identifié des objectifs concrets pour les étudiants, pour un apprentissage et une collaboration interdisciplinaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifier les contributions des différents domaines à un problème complexe. • Apprécier les contributions des différents domaines. • Identifier les besoins en information et les contraintes des experts dans les autres disciplines pour s'assurer d'une collaboration efficace • Intégrer les approches et l'expertise des différentes disciplines d'une façon synthétique. • Apprendre des méthodes et contenus d'autres disciplines pour contribuer aux projets actuels et futurs. <p>Malgré ces objectifs beaucoup de travail est à faire pour aider les professeurs en ingénierie à aider leurs étudiants à atteindre ces objectifs.</p> <p>Ces auteurs soulignent que certains auteurs offrent des objectifs mesurables en utilisant dans leurs énoncés des verbes d'actions observables. D'autres objectifs sont trop généraux et laissent présumer que le simple fait d'engager les étudiants dans des expériences interdisciplinaires, contribuera au développement des compétences désirées sans intervention explicite d'enseignement. Or la recherche démontre de façon consistante que l'apprentissage, en ne faisant pas attention à la métacognition, entrave de façon significative la capacité des étudiants à développer des compétences de collaboration, particulièrement dans un environnement complexe. (Anwar et Rothwell 1997, Colbeck et al. 2000, Dean et al. 2005, Paretti et al. 2007)</p>
----------------------	---

Principaux résultats (suite)	<p>Question 2 :</p> <p>Identification de 2 barrières d'apprentissage (concept d'égoцентризм disciplinaire)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les étudiants échouent à reconnaître la contribution de leur propre discipline à un sujet interdisciplinaire. (ici LCA) • Les étudiants échouent à reconnaître les contributions (ou perspectives) d'autres domaines techniques et non techniques à un problème interdisciplinaire donné. <p>Pour que les étudiants puissent réussir dans un contexte interdisciplinaire, ils doivent être capables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • D'identifier les contributions que les nouveaux domaines de connaissances peuvent apporter à leur propre domaine d'expertise. • D'identifier les façons dont leur domaine d'expertise disciplinaire peut contribuer à la résolution de problèmes interdisciplinaires. • D'identifier la valeur et les contributions des autres domaines d'expertise à un défi interdisciplinaire particulier. • Faire une synthèse des concepts et approches des divers domaines pour développer une solution intégrée à un défi interdisciplinaire donné. <p>Interventions possibles en classes interdisciplinaires pour que les étudiants surmontent les barrières de l'égoцентризм disciplinaire. Comme point de départ, les professeurs peuvent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • parler des autres disciplines dans leurs cours. • créer des discussions dans la classe en demandant aux étudiants de formuler explicitement comment leur discipline peut contribuer au problème spécifique. • demander aux étudiants de réfléchir sur des questions comme : « Qu'est-ce que ça veut dire d'être un ingénieur de sa discipline? », et partager ses réponses avec les membres d'autres disciplines. • créer des discussions en petits groupes sur les façons de penser et les méthodologies de chacune des disciplines des personnes présentes. • demander à chaque étudiant d'identifier les forces et limites de leur discipline quand ils forment de nouvelles équipes.
------------------------------	--

7.1.4 Article 5 : Segalàs (2010) – Comparaison de stratégies

Catégorie	Éléments de l'article
Principe	Pour Segalàs, le lien entre développement durable et génie passe également par la résolution des problèmes complexes.
Compétences, connaissances.	<ul style="list-style-type: none"> • développement de la pensée critique et systémique • habiletés pour travailler avec un cadre transdisciplinaire • développement de valeurs consistantes avec le développement durable.
Stratégie(s) d'enseignement	<p>Projet de recherche de 5 ans pour comparer comment les compétences en développement durable sont introduites dans les facultés d'ingénierie et comparer les approches d'apprentissage dans des cours d'introduction au développement durable en ingénierie.</p> <p>Voir tableau ci-dessous pour la synthèse des méthodes.</p> <p>Ces stratégies d'apprentissage sont mises en pratique de différentes façons : cours à distance sur CD, participation à des forums virtuels, exercices, présentation d'étudiants, workshop, rapports, conférences d'invités, séminaires, visionnement de films et analyse, etc.</p>
Protocole de recherche	<p>Le projet vise l'analyse de 10 cours d'introduction au développement durable dans 5 universités européennes en utilisant des cartes conceptuelles comme outil d'évaluation du contenu. La sélection des cours s'est faite avec l'accord des professeurs responsables et a impliqué plus de 500 étudiants.</p> <p>Sans consignes détaillées les étudiants ont réalisé 2 cartes conceptuelles; l'une au tout début du cours et l'autre à la fin. C'est par l'analyse de ces cartes comparées que cette étude a été réalisée pour comparer les stratégies d'enseignement en fonctions des résultats obtenus.</p> <p>Pour définir les objectifs d'apprentissage souhaités, ils ont demandé à 25 experts en EESD (Engineering Education in Sustainable Development) qui ont participé à la dernière conférence en EESD à Graz en 2008, de faire des cartes cognitives. Les résultats de l'analyse de ces cartes ont servi de référence.</p>
Principaux résultats	<p>L'évaluation de l'apprentissage cognitif à propos du développement durable avec des cartes conceptuelles est appropriée.</p> <p>Malgré un cours en développement durable, les étudiants perçoivent le développement durable comme principalement relié à la technologie, laquelle ils considèrent comme étant capable de résoudre les problèmes environnementaux de la planète. Il faut que le contenu mette davantage l'emphase sur les aspects sociaux et institutionnels du développement durable.</p> <p>Appliquer une approche active, constructive et orientée vers la communauté d'étudiants augmente l'apprentissage cognitif à propos du développement durable.</p>

Stratégies d'apprentissage et leur rôle dans l'éducation au développement durable

Stratégies d'apprentissage et définition	Rôle de ces stratégies dans l'éducation au développement durable
<p>Cours magistraux (passif) : « Présentation d'un sujet d'une façon structurée. Orale ou écrite »</p>	<p>« Bonne méthode pour introduire les étudiants aux concepts du développement durable. »</p>
<p>Apprentissage par projets (actif) « Un ensemble d'expériences d'apprentissage qui implique les étudiants dans des projets complexes, de la vraie vie, et à travers lesquels ils développent et appliquent des compétences et des connaissances. »</p>	<p>« Les projets interdisciplinaires peuvent contribuer à l'adaptation des programmes d'ingénierie de sorte qu'ils favorisent la compréhension mutuelle entre les sciences et la technologie, et les sciences sociales. »</p>
<p>Études de cas (actif) « Fournir une série de cas qui représentent diverses situations problématiques de la vraie vie et qui peuvent être étudiés et analysés. »</p>	<p>« Habituellement de nature qualitative et descriptive, les études de cas peuvent être utilisées pour explorer des enjeux spécifiques comme les diverses perspectives des acteurs. Ces cas fournissent des exemples de vrais cas de pratique et démontrent où le progrès vers le développement durable peut être fait dans le monde réel. »</p>
<p>Apprentissage par problèmes (actif) « Les étudiants se rencontrent en petits groupes pour analyser et résoudre un problème. Le processus est conçu pour atteindre certains objectifs d'apprentissage. »</p>	<p>« L'apprentissage par problème prépare les étudiants à leur rôle d'ingénieur. Ce type d'approche permet aux étudiants d'apprendre à propos d'eux-mêmes. Dans le processus de résolution de problèmes, les étudiants doivent considérer leurs propres objectifs éducatifs et cela est susceptible de provoquer une certaine introspection à propos des valeurs, de l'éthique et des croyances. »</p>
<p>« Backcasting » (actif) « C'est une façon de planifier en concevant un résultat concret futur puis, tout en gardant en tête ce qui doit être atteint dans le futur, travailler vers ce but à partir du présent. »</p>	<p>« En raison du caractère normatif et de résolution de problème, le <i>backcasting</i> est beaucoup mieux pour les problèmes à long terme et les solutions en développement durable. »</p>
<p>Jeux de rôle (actif) « Processus d'apprentissage par lequel les participants prennent le rôle de certains individus dans le but de développer des compétences particulières ou rencontrer des objectifs d'apprentissage particuliers. »</p>	<p>« Les jeux de rôle concilient la complexité des situations réelles, le travail de groupe, l'autonomie et l'action de l'étudiant. Ceci est pertinent pour l'éducation au développement durable. »</p>

7.1.5 Article 6 : Emilsson (2008) – Compétences sociales

Catégorie	Éléments de l'article
Principe	<p>L'auteur s'interroge sur la pertinence de développer des compétences sociales et sur les moyens pour le faire.</p> <p>« l'activité professionnelle exige une perspective scientifique théorique associée à la capacité de pouvoir appliquer ces connaissances dans la pratique dans le but d'agir vers le développement durable. Or beaucoup de problèmes liés au milieu de travail sont attribués aux difficultés de relation entre les membres dans un groupe de travail où entre le chef du projet et les autres membres. » Ainsi son projet pédagogique « vise l'impact des relations interpersonnelles et de la dynamique de groupe dans les rencontres professionnelles. »</p> <p>Pertinence du développement de compétences sociales :</p> <p>« Des compétences sociales pour (constater) différentes perspectives et pour différentes situations professionnelles » (Emilsson 2008)</p> <p>Les défis complexes « requièrent une collaboration continue parmi les professionnels des divers domaines de l'ingénierie et des sciences, aussi bien que des experts en affaires, en économie, en politique, en planification urbaine et rurale, et au-delà. De telles collaborations doivent aller au-delà de l'approche « diviser pour conquérir », mais s'opérer dans une démarche continue, dynamique et intégrative d'apprentissage et d'échange d'idées et d'informations. » (Richter 2009)</p> <p>« Analyser et développer des relations cognitives et sociales avec les autres dans le but de faciliter le développement de technologies et l'analyse de leurs impacts positifs et négatifs sur la société. » (Lehmann, 2008)</p> <p>« Les compétences sociales en terme de posséder et d'utiliser nos compétences pour intégrer notre capacité de réflexion, nos émotions et notre comportement pour réaliser des tâches professionnelles. » (Goelman 1995, Segall et al. 1990)</p> <p>« Les auteurs de l'article croient qu'il est nécessaire pour les ingénieurs d'être socialement compétents. D'ailleurs, parmi les compétences désirées par le monde du travail chez les nouveaux ingénieurs on retrouve: la gestion de personnel, l'établissement et le maintien de relations de travail professionnelles, et d'interagir avec le public. »</p>
Compétences, connaissances	<p>Compétences sociales, compétences pour le travail d'équipe, la communication, la collaboration.</p> <p>Cibles : développement de la communication, la dynamique de groupe et le leadership.</p>
Stratégie(s) d'enseignement	<p>Inspiré de Kelly (1963), le processus d'apprentissage en sciences sociales se déroule en suivant les étapes suivantes : (1) « description de la perception du problème par les élèves et développement de théories explicatives personnelles et de solutions imaginables, (2) présentation de théories en sciences sociales où différentes perspectives sont considérées à travers des réflexions, puis (3) graduellement de nouvelles connaissances et de nouvelles théories personnelles sont développées en préparation à des problèmes futurs. »</p>

Stratégie(s) d'enseignement (suite)	<p>Ce sont 40 étudiants en géomatique (25 hommes et 16 femmes) en début de formation qui ont participé à l'étude sur une base volontaire et sans que des crédits ne leurs soient accordés. Ces 40 étudiants sont divisés en 2 groupes et chacun des groupes est divisé en 4 équipes. Il y a eu une rencontre initiale pour sonder les intérêts, les besoins et les exigences des étudiants du groupe en matière de compétences sociales, de dynamique de groupe et de leadership. Ensuite il y a eu 6 cours durant lesquelles il y a eu alternance entre des cours magistraux et de la pratique, des rencontres par équipe projet et des rencontres d'étudiants avec d'autres professeurs.</p> <p>Les problèmes perçus étaient d'abord partiellement introduits par les réflexions écrites individuellement précédant le cours et remises au chef de groupe, et à travers les discussions en équipe. La théorie était introduite sous forme de cours magistraux et était utilisée dans les exercices de réflexion et de résolution de problèmes. Les conclusions et les nouvelles connaissances étaient du matériel pour les futurs cours. Ainsi, les étudiants acquièrent des outils pour réfléchir sur leur propre comportement et des connaissances sur les interactions qui se déroulent dans les petits groupes. Les théories en communication et les modèles psychosociaux visent à faire prendre conscience aux étudiants de leurs attitudes, leurs valeurs et leurs rôles, leurs compétences en communication et en leadership, et les comportements de groupe et de ses dynamiques.</p> <p>L'auteur a également rencontré des professeurs dans le but de les intéresser, de les impliquer et obtenir leur collaboration pour qu'ils deviennent des modèles de rôle dans leur position d'ingénieur d'expérience et pour contribuer au développement durable.</p>
Protocole de recherche	<p>Spécifiquement l'article tente de répondre aux questions suivantes :</p> <p>« Est-ce que les compétences sociales sont nécessaires aux ingénieurs pour contribuer au développement durable? » Si oui, comment enseigner la communication, la dynamique de groupe et le leadership dans un environnement technique tel que les programmes d'éducation en ingénierie?</p> <p>Est-ce que l'utilisation de théorie en psychologie sociale contribue à développer des compétences en communication et en gestion, en éducation en ingénierie?</p> <p>Est-ce qu'une méthode pédagogique qui repose sur la dynamique des groupes peut être utile pour appliquer un cadre théorique pour un impact durable?</p> <p>Est-ce que les professeurs agissant comme modèle dans leur rôle social aident les étudiants à appliquer la théorie à la pratique? »</p> <p>Analyse de la recherche</p> <p>L'analyse de la recherche sur l'approche consistait à analyser des écrits produits : les réflexions des étudiants et les notes de terrain, des chefs d'équipe. Après chaque rencontre les chefs de projet devaient rédiger des notes détaillées de ce qui s'était déroulé durant le cours et le travail d'équipe. À la fin du projet il y a eu quelques heures consacrées à des échanges sur les expériences et le projet de façon générale.</p>
Principaux résultats	<p>« L'enseignement de théories en sciences sociales et l'enseignement par groupe peuvent contribuer au développement de compétences de communication. »</p> <p>« Il y a de l'intérêt de la part des étudiants dans l'apprentissage des théories de</p>

groupe, et dans la pratique des diverses techniques appliquées aux situations interpersonnelles. (relations, communication, conflits, résolution de problèmes, processus de groupe, gestion organisationnelle et leadership.» Le modèle d'apprentissage a été efficace sous certains aspects, car plus de la moitié étaient prêts à poursuivre l'expérience même s'ils ne recevaient pas de crédits. »

« Les étudiants disent avoir beaucoup appris du projet, mais ils n'étaient pas capables d'appliquer les nouvelles connaissances. Explications plausibles :

- besoin de plus de temps et de pratique. Selon Svensson 2002, l'apprentissage par l'expérience prend beaucoup de temps.
- l'impact de la composition des groupes, (l'historique du groupe, les intentions, la motivation des membres des équipes qui a influencé l'expérience de chacun. Les groupes étaient très différents et les processus étaient complexes à analyser et interpréter.
- le manque d'intérêt des professeurs. »

« Plusieurs d'entre eux (étudiants) ont eu de la difficulté à donner de la rétroaction honnête sur les comportements de leurs collègues. Un phénomène qui peut s'expliquer par une lacune au niveau des compétences sociales ou être interprété comme un manque de confiance à l'intérieur du groupe. (Erikson 1974) Les difficultés des étudiants relatives à divers sujets de la communication comme l'interaction, les valeurs personnelles, les processus de groupe peuvent être un signe qu'ils ne sont pas familiers avec ces aspects du domaine des sciences sociales. Par contre certains sont des communicateurs naturels. »

« Le projet n'a toutefois pas été poursuivi en raison de restriction budgétaire, et parce que les professeurs étaient peu intéressés et ont voté contre la poursuite du projet. La raison de ceci, c'est qu'ils considèrent leur propre discipline technique comme étant plus importante et ne veulent pas céder des crédits pour des sujets comme les compétences sociales. Ceci vient à l'encontre des propos d'Ashford 2004 qui prône l'importance d'un enseignement multidisciplinaire et la révision des curricula en ingénierie. D'autres chercheurs plaident également en faveur de connaissances éthiques, sociales et environnementales pour les ingénieurs, pour leur permettre un meilleur pouvoir d'action vers le développement durable. » (Fokkema et al. 2005)

« Dans le projet présenté, à travers les théories présentées en sciences sociales, les étudiants ont acquis les outils pour réfléchir sur leur propre comportement, mais aussi des connaissances sur les interactions à l'intérieur d'un groupe. Les auteurs croient que les théories sont importantes pour le processus d'apprentissage parce qu'ils constituent la base pour une nouvelle ou différente façon de penser. »

Recommandations :

« Pour inclure les compétences sociales dans l'éducation en ingénierie, il est nécessaire de débiter avec le rôle des professeurs. Il faut les encourager à démontrer les dimensions sociales dans les situations professionnelles. » Dans ce même ordre d'idées, les ingénieurs en exercice, invités à donner une conférence pourraient être invités à traiter des dimensions sociales. Ceux-ci pourraient être de bons exemples pour les futurs étudiants.

7.2 Définition du DD issue du Centre for Sustainable Development du Département d'ingénierie de Cambridge

What is Engineering for Sustainable Development?

Key aspects needed when approaching engineering problems from a sustainability perspective, and methods and approaches which will be explored in developing the skills required. Engineering for Sustainable Development means:

- Dealing with **complexity**... through adopting a system approach;
- Dealing with **uncertainty**... when decision-making in the absence of complete information or evidence;
- Dealing with **change**... by challenging orthodoxy and envisioning the future;
- Dealing with **other disciplines**... through building multidisciplinary teams;
- Dealing with **people**... through consultation processes and negotiation to meet society's and individual's needs;
- Dealing with **environmental limits**... through seeking efficient resource use, ensuring pollution control and maintaining ecosystem services;
- Dealing with **whole-life costs**... by considering environmental and social externalities and embracing life-cycle management and
- Dealing with **trade offs**... by avoiding optimisation around a single variable to create solutions acceptable for all.

www-g.eng.cam.ac.uk/sustdev/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=18&Itemid=101