

### **De la pluridisciplinarité pour des ingénieurs généralistes vers une interdisciplinarité à la mesure d'ingénieurs éco-citoyens**

### **From pluridisciplinarity for general engineers towards interdisciplinarity as for ecocitizen engineers**

**Natacha GONDRAN**

Centre sciences, information et technologies pour l'environnement  
ENS des mines de Saint-Étienne  
158 cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne cedex 2, France.  
gondran@emse.fr

**Daniel M. KAMMEN**

Renewable and Appropriate Energy Laboratory  
University of California  
Energy and Resources Group (ERG)  
310 Barrows Hall  
Berkeley, CA 94720-3050, USA.

#### ***Résumé***

*Si de nombreuses déclarations plaident pour l'introduction de l'interdisciplinarité dans les programmes de formation et recherche, rares sont ceux qui la*

*mettent réellement en place. Nous montrons l'intérêt de l'interdisciplinarité et de l'apprentissage de ses méthodes dans les écoles d'ingénieurs si l'on veut que ceux-ci soient des « citoyens responsables assurant le lien entre les sciences, les technologies et la communauté humaine » (CNISF, 2001). En nous appuyant sur l'expérience de l'« Energy and Resources Group » de l'université de Berkeley, nous proposons quelques pistes pour aider les responsables et enseignants d'écoles d'ingénieurs à intégrer l'interdisciplinarité dans leurs programmes pédagogiques.*

**Mots clés :** *interdisciplinarité, école d'ingénieur, éducation, citoyen, université américaine.*

### **Abstract**

*Numerous declarations speak in favor of interdisciplinary educational and research programs to help the future decision makers to improve the quality of their decision within complex environment and improve their capacity to integrate economic, environmental and social components among their decisional criteria. However, educational and research programs for engineers are still rare in France and are in search of methods to transform this will of interdisciplinarity into effective practices. The 30 years of experience of the interdisciplinary « Energy and Resources Group » of UC Berkeley can be used to formalize the « tricks of the trade » of such interdisciplinary programs.*

**Key Words :** *interdisciplinarity, graduate engineering school, training program, American university.*

Apprendre aux ingénieurs de demain à prendre en compte, dans leurs décisions, des enjeux, non seulement techniques et économiques, mais aussi sociaux et environnementaux est (ou devrait être) une préoccupation de toutes les écoles d'ingénieurs. Depuis le début des années 70, des ouvrages appellent à l'interdisciplinarité dans les programmes éducatifs et travaux de recherche (Schumacher, 1973 ; De Rosnay, 1975, par exemple) pour aider les (futurs) décideurs à affronter des situations caractérisées par leur niveau élevé de complexité, d'incertitude et d'asymétrie d'information entre les différentes parties prenantes, ainsi que par des situations d'information paradoxalement caractérisées simultanément par un surplus d'informations si l'on considère le volume d'information disponible, et une insuffisance d'informations si on considère leur qualité et pertinence. Une telle orientation vers l'interdisciplinarité a été officiellement encouragée par la conférence de Rio des Nations unies sur l'environnement et le développement (1992). Cependant, près de quatre siècles de cartésianisme ont ancré dans les habitudes et schèmes de pensée le cloisonnement entre les disciplines.

L'interdisciplinarité est souvent utilisée comme un terme générique qui s'applique à des démarches visant à aborder des problèmes et des projets en mobilisant plusieurs disciplines. Son premier niveau de concrétisation est l'approche pluridisciplinaire, c'est-à-dire « *l'association de disciplines qui concourent à une réalisation commune, mais sans que chaque discipline ait à modifier sensiblement sa propre vision des choses et ses propres méthodes* » (Delattre, 2003, p. 1). Cette approche, mise en œuvre depuis longtemps au sein des écoles d'ingénieurs françaises, consiste à juxtaposer des enseignements scientifiques dispensés par plusieurs spécialistes, compétents dans des disciplines différentes. Les élèves ingénieurs reçoivent ainsi une formation « généraliste ». Cependant, pour générer de nouvelles connaissances, l'interdisciplinarité requiert échange et coopération entre les différentes sciences (Morin, 1990). Ainsi, nous développons l'hypothèse que l'apport d'une réflexion méthodologique sur l'interdisciplinarité est nécessaire pour aider les élèves ingénieurs à mettre en cohérence les différentes disciplines qu'on leur a enseignées. Si l'on compare les connaissances disciplinaires à des pièces de puzzle et leur projet professionnel à l'image constituée par le puzzle, il s'agit de proposer aux étudiants des méthodes pour les aider à fabriquer leur propre puzzle à partir des pièces récoltées au long de leur scolarité.

Certains scientifiques associatifs et industriels font appel à la notion de « transdisciplinarité » qui renvoie à des « *pratiques dites nouvelles de production de savoirs* » qui visent à « *organiser le débat démocratique en reliant savoirs scientifiques et savoirs populaires* » autour de problèmes contemporains (portant sur l'environnement, la santé, le développement, etc.) qui mettent en évidence certaines limites de la science disciplinaire (Pivot, 2001, p. 66). Cet article ne prétend pas proposer de telles pratiques, ni un apport théorique sur les définitions de l'inter-, pluri- ou trans-disciplinarité. Plus modestement, nous présentons quelques pistes concrètes avec lesquelles enseignants et responsables d'écoles d'ingénieurs françaises peuvent aider leurs élèves à assembler les diverses pièces de connaissances disciplinaires acquises au long de leur scolarité afin de construire le puzzle de leur projet professionnel. Nous utiliserons alors le terme « interdisciplinarité » qui nous semble le plus représentatif de l'approche décrite. Cette liste de « trucs » n'a pas pour prétention d'être exhaustive ni prescriptive, mais d'envisager l'utilisation, dans le contexte des écoles d'ingénieurs françaises, de réflexions développées, depuis une trentaine d'années, au sein du département « Energy and Resources Group » (ERG) de l'université de Berkeley.

## 1. UNE APPROCHE INTERDISCIPLINAIRE EST NÉCESSAIRE...

Suite à la demande de l'Unesco pour son programme international sur l'éducation, la sensibilisation du public et la formation à la viabilité, le phi-

losophe E. Morin (1999) a énoncé sept défis que devrait traiter « *l'éducation du futur* ». La relecture de ces défis à travers diverses références d'auteurs prônant l'interdisciplinarité nous amène à poser l'hypothèse que, pour répondre à ces défis, il est nécessaire (mais pas forcément suffisant) que les programmes d'enseignement supérieur donnent l'occasion aux étudiants d'expérimenter une approche interdisciplinaire, c'est-à-dire mobilisant sur un même sujet plusieurs disciplines, voire plusieurs types de « sciences » (sciences humaines et sciences pour l'ingénieur, par exemple).

### **1.1. ... pour enseigner les « cécités de la connaissance » : l'erreur et l'illusion**

E. Morin (1999) regrette que l'éducation n'enseigne pas les mécanismes de la connaissance afin d'aider l'apprenant à prendre conscience que chaque connaissance est entachée d'erreur et d'illusion. Nous utilisons tous des modèles pour simplifier et clarifier la réalité. Une discipline émerge lorsqu'un groupe partage les mêmes modèles, hypothèses et valeurs. Si ces hypothèses et valeurs permettent de faire le lien entre la connaissance et la réalité, elles éludent une partie de la complexité du réel (Norgaard, 2002). Chacun passe la plupart de son temps avec des personnes qui possèdent le même profil (mêmes formations, lectures et sources d'information) et partagent les mêmes hypothèses implicites. Cela réduit les occasions où les spécialistes de différentes disciplines peuvent confronter leurs hypothèses et résultats de recherche. De plus, la spécialisation croissante de chacun augmente le nombre sous-jacent d'hypothèses et rétrécit son champ de vision (Norgaard, 2002). Les « spécialistes » finissent donc souvent par oublier l'existence de ces hypothèses et valeurs ainsi que le décalage entre modèles utilisés et réalité. Cet oubli explique les difficultés rencontrées par les équipes « pluridisciplinaires » qui essaient de réunir autour d'un même projet des spécialistes qui ne partagent pas de langage, hypothèses et valeurs communs. Chacun ne pourra donc enrichir sa vision de la réalité qu'en connaissant les hypothèses d'autres disciplines à travers une pratique réelle de ces disciplines.

### **1.2. ... pour assurer la pertinence de la connaissance**

Les réalités et problèmes liés à l'évolution de la société et aux menaces écologiques qui pèsent sur elle deviennent de « *plus en plus polydisciplinaires, transversaux, multidimensionnels, transnationaux, globaux, planétaires* » (Morin, 1999, p. 21). L'éducation doit aider à faire le lien entre l'objet étudié et son contexte global. Il faut pour cela mettre en évidence les relations entre les différentes dimensions d'un problème et sa complexité, c'est-à-dire expliciter les interdépendances entre les différentes parties. Le

découpage actuel en « disciplines » et l'hyperspécialisation sont des freins à cette mise en relation. Pour aider à comprendre les liens entre les parties et le tout, « *il est nécessaire d'enseigner les méthodes qui permettent de saisir les relations mutuelles et influences réciproques entre parties et tout dans un monde complexe* » (Morin, 1999, p. 9). J.P. Dupuy (2003) montre la nécessité d'accroître la connaissance de la science, par les scientifiques, afin de faire prendre conscience aux scientifiques de leur responsabilité sur la société, et d'améliorer l'articulation des responsabilités entre la science et la société. J.P. Dupuy déplore que « *la plupart des scientifiques ne soient pas plus cultivés que l'homme de la rue. La raison en est la spécialisation du métier de scientifique* » (Dupuy, 2003, p. 12).

Il semble donc nécessaire d'aider l'apprenant à prendre du recul sur les différentes sciences qui lui sont enseignées en intégrant, aux programmes d'enseignements supérieurs scientifiques, une réflexion sur l'histoire, les idées et les méthodes à la base des sciences mobilisées.

### **1.3. ... pour enseigner la condition humaine**

« *L'être humain est à la fois physique, biologique, psychique, culturel, social, historique* » (Morin, 1999, p. 28). Selon E. Morin (1999), l'éducation doit enseigner ces différentes dimensions pour aider chacun à s'interroger et trouver des éléments de réponses à ce questionnement sur la condition humaine en lui permettant de reconnaître et accepter l'identité commune des différents êtres humains tout en identifiant leur diversité culturelle. Pour l'ingénieur, cette interrogation est liée à la prise de conscience de son rôle dans la société et des impacts de ses décisions sur les individus et sur l'environnement. S. Florman (1976) et M. Cini (1991) soulignent la difficulté de certains ingénieurs à reconnaître la complexité de la vie : « *la culture de l'ingénierie est linéaire* » (Cini, 1991, p. 105). À l'heure où l'on demande de plus en plus aux décideurs d'assumer la responsabilité des impacts que peuvent avoir leurs décisions sur la société et l'environnement, il semble crucial de donner aux futurs ingénieurs les moyens de comprendre leur environnement (naturel et socio-économique) et d'aborder la complexité représentée par les interrelations entre les différentes composantes de cet environnement.

### **1.4. ... pour enseigner l'identité terrienne**

M. Callon et *al.* (2001) soulignent le cloisonnement entre le monde réel et celui de la recherche. Les sujets de recherche les plus prisés excluent généralement les questions qui touchent le plus grand nombre de personnes et qui ont l'impact le plus important sur l'environnement (Kammen & Dove, 1997). Par exemple, la pollution atmosphérique intérieure des foyers, qui utilisent la biomasse comme combustible de cuisine, touche trois milliards de

personnes et a des conséquences sanitaires et environnementales supérieures à la pollution urbaine des villes des pays développés. Pourtant, c'est ce dernier thème qui fait l'objet de la majorité des recherches sur la pollution atmosphérique car il permet d'élaborer des modèles mathématiques séduisants tandis que la « *science du quotidien* » (traduction de « *mundane science* »), mobilisée par le premier, impose la prise en compte de composantes physico-chimiques, culturelles et sociales qui limitent les perspectives de modélisation mathématique (Kammen & Dove, 1997).

### **1.5. ... pour aider à affronter les incertitudes**

L'éducation doit apprendre aux (futurs) décideurs à évaluer et prendre en compte les incertitudes liées aux résultats scientifiques. L'acteur en situation d'incertitude ne possède pas toutes les informations qu'il souhaiterait pour résoudre les problèmes auxquels il est confronté. Faire appel à plusieurs disciplines permet d'augmenter la quantité d'informations pertinentes disponibles, prendre en compte le caractère multidimensionnel des problématiques environnementales et gérer le manque d'information afin d'optimiser la décision pour l'ensemble des acteurs qu'elle concerne (Roche, 2000).

### **1.6. ... pour enseigner la compréhension**

L'éducation doit aider chacun à comprendre les autres pour permettre aux relations humaines de « *sortir de leur état barbare d'incompréhension* » (Morin, 1999, p. 10). En donnant à chacun l'occasion d'utiliser les modèles de pensées de différentes disciplines, l'interdisciplinarité concourt à cet objectif. Il est cependant nécessaire de développer de nouvelles méthodes permettant d'avoir une analyse interdisciplinaire des questions et cas étudiés.

### **1.7. ... pour enseigner l'éthique du genre humain**

Selon E. Schumacher (1973), le problème de l'éducation n'est pas seulement sa spécialisation mais l'absence de sensibilisation métaphysique et le fait que les sujets soient présentés de façon superficielle. Chacun est guidé par des convictions et idées de base. Selon E. Morin (1999) et E. Schumacher (1973), l'éducation, à travers la métaphysique et l'éthique, devrait aider chaque élève à identifier et connaître ses convictions sur la signification et le but de sa vie.

Notre propos n'est pas de remettre en cause la nécessité d'une approche disciplinaire qui apporte, à l'apprenant, les bases (les pièces du

puzzle) de sa formation : « *la fécondité de la discipline dans l'histoire de la science n'a pas à être démontrée ; d'une part, elle opère la circonscription d'un domaine de compétence sans laquelle la connaissance se fluidifierait et deviendrait vague ; d'autre part, elle dévoile, extrait ou construit un objet non trivial pour l'étude scientifique.* » (Morin, 1990, p. 1). Cependant, les arguments que nous venons de présenter nous amènent à poser l'hypothèse que l'éducation doit maintenant encourager les étudiants à expérimenter une approche réellement interdisciplinaire pour les inciter à prendre du recul sur l'ensemble des connaissances (les morceaux de puzzle) qu'ils ont récoltées tout au long de leur formation et en avoir une vision plus globale. Cette interdisciplinarité peut, par exemple, donner lieu à des projets où ils doivent mobiliser, sur un sujet donné, plusieurs disciplines. La deuxième hypothèse, que nous développons dans la partie qui suit, est qu'il est également nécessaire de formaliser une réflexion méthodologique sur l'interdisciplinarité, ou, du moins, de transmettre aux étudiants certains « trucs » (« *tricks of the trade* » dans le jargon de certains chercheurs américains) afin de les aider à éviter certains écueils de l'interdisciplinarité : approche trop superficielle, difficulté à trouver des références bibliographiques également interdisciplinaires, dilemme « *profondeur contre étendue* » des recherches (comment savoir où s'arrêter dans chaque discipline et éviter une dispersion trop importante dans la recherche d'information ?), oubli de l'objectif initial de l'étude et non-respect des délais, démarche pas assez rigoureuse ne correspondant pas aux standards académiques, par exemple.

## 2. DE LA THÉORIE À LA MISE EN ŒUVRE DE L'INTERDISCIPLINARITÉ DANS LES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT

Le rapport de la conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (1992) de Rio insiste sur la nécessité, pour chaque gouvernement, de favoriser les programmes et activités de recherche interdisciplinaires (chapitre 35 sur les sciences) et les formations multidisciplinaires (chapitre 36 sur l'éducation). Pourtant, aux USA comme en France, il est encore difficile, pour un enseignant-chercheur et un laboratoire de recherche de se faire reconnaître par la communauté scientifique si ses travaux ne s'inscrivent pas vraiment dans une catégorie pré-existante. Il est donc difficile, pour un enseignant-chercheur, de mener et revendiquer une approche croisant réellement plusieurs disciplines. Ainsi, si de nombreux programmes et établissements affichent une certaine interdisciplinarité, au niveau de leurs programmes pédagogiques et de recherche, il s'agit plus souvent d'approches pluridisciplinaires que d'une réelle intégration et d'échanges entre les diverses disciplines. Un des pionniers ayant mis en œuvre de réelles interactions entre les disciplines et menant une réflexion sur ces interactions est le département

« ERG » (Energy and Resources Group) de l'université de Californie de Berkeley. Créé en 1973, sa mission est de « *développer et transmettre les connaissances critiques nécessaires à la construction d'un futur possible dans lequel les besoins matériels humains et les exigences d'un environnement sain soient mutuellement et durablement satisfaits* » (ERG, 2002, p. 1). Il a formé plus de 300 élèves, de maîtrise et doctorat, souvent employés ensuite dans diverses structures (gouvernementales, académiques, associatives ou commerciales) travaillant dans le domaine de l'énergie et de l'environnement. Actuellement, 55 étudiants sont encadrés par 6 professeurs en relation avec près de 100 professeurs d'autres départements de l'université de Californie.

Cette expérience, associée à un effort permanent de définition collective des objectifs et méthodes, a permis à ce département de formaliser quelques règles concrètes à respecter par tout étudiant et chercheur interdisciplinaire. Nous en présentons quelques-unes ci-dessous en montrant comment elles peuvent apporter un début de réponse aux sept principes énoncés par E. Morin et comment elles pourraient s'adapter aux programmes pédagogiques des écoles d'ingénieurs françaises.

## **2.1. Faire prendre conscience des « cécités de la connaissance » en aiguisant le sens critique**

Toute connaissance n'est valable que dans un cadre donné. Les étudiants doivent donc apprendre à définir les hypothèses de travail, valeurs et idéologies (au sens anglais du terme, c'est-à-dire le corps d'idées et de valeurs qui forme la façon de pensée de chacun) qui orientent implicitement chaque étude. Cette formalisation est particulièrement importante pour le chercheur interdisciplinaire. En effet, celui-ci ne pouvant revendiquer une appartenance à une discipline préexistante doit fréquemment justifier son approche en expliquant ce qu'il fait, comment et pourquoi il le fait. D'autre part, les études liées à la protection de l'environnement sont souvent menées par des « *chercheurs militants* » (traduction de « *activist scholar* ») passionnés par leur sujet d'étude. Certains mettent en place des protocoles de recherche-action. Le postulat positiviste d'un observateur neutre, objectif et détaché de son sujet, ne peut donc s'appliquer. Le chercheur doit alors s'interroger sur les interactions et frontières entre l'observateur et son sujet d'observation. Afin de faciliter la prise de recul des étudiants sur ces questions, ces derniers sont encouragés à communiquer sur leur sujet de recherche afin de bénéficier d'un regard extérieur et de faciliter cette explicitation de leurs hypothèses de travail, idéologie et valeurs pour mieux cerner les limites (inévitables) de leur étude. Ainsi, en ERG, par exemple, une demi-journée par semaine (facultative pour les étudiants, mais obligatoire pour les professeurs) est réservée aux échanges entre étudiants et enseignants au cours de séminaires et colloques. Opérationnellement, ce regard critique sur les connaissances générées et utilisées passe également par l'enseignement de



méthodes permettant une critique systématique des données et hypothèses sous-jacentes aux études utilisées (Kooimey, 2001).

Dans leur vie professionnelle, les ingénieurs devront traiter des données incomplètes, voire fausses (erreurs de mesures, enquêtes biaisées, etc.) Aiguiser leur sens critique permet de les habituer à estimer la fiabilité des données qu'ils utilisent ainsi que leurs résultats. Par exemple, lorsqu'on leur demande de faire des recherches d'informations, il est souvent nécessaire de rappeler aux étudiants la nécessité de bien identifier leurs sources d'information, d'évaluer la fiabilité de ces sources et de les citer. D'autre part, lorsqu'on leur propose des exercices mobilisant des modèles, on peut les entraîner à identifier les hypothèses sur lesquelles reposent ces modèles et estimer l'incertitude et la cohérence de leurs résultats.

## 2.2. Assurer la pertinence de la connaissance en incitant à « connaître son héritage »

« L'interdisciplinarité ne consiste pas seulement à juxtaposer quelques morceaux de savoir : elle implique d'élaborer des concepts nouveaux pour articuler entre elles les connaissances issues des différents champs » (Lefeuve, 1991, p. 40). Pour aider les étudiants à faire ce lien, J.-P. Dupuy (2003) propose d'introduire l'histoire et la philosophie des sciences dans les cursus d'enseignement scientifiques. L'approche choisie en ERG est d'inciter les étudiants à « connaître leur héritage » en les obligeant à lire et analyser les ouvrages des divers auteurs ayant influencé la pensée écologique. Afin de créer une « histoire commune » entre les membres d'une même formation et rattacher cette histoire aux travaux préalables ayant été écrits sur la protection de l'environnement, les enseignants peuvent collectivement sélectionner une liste des « classiques de la littérature sur l'environnement » qui les ont influencés.

<p>Vannevar BUSH (1945) - <i>Science, The Endless Frontier</i>  Aldo LEOPOLD (1949) - <i>A sand county almanach</i>  Harrison BROWN (1954) - <i>The challenge of man's future</i>  Rachel CARSON (1962) - <i>Silent spring</i>  Richard FEYNMAN (1963) - <i>The meaning of it all: Thoughts of a Citizen Scientist</i>  Ernst F. SCHUMACHER (1973) - <i>Small is beautiful</i>  Joel PRIMACK, Frank VON HIPPLE (1974) - <i>Advice and Dissent: Scientists in the Political Arena</i>  Amory B. LOVINS (1976) - <i>Energy Strategy: The Road Not Taken</i>  Samuel C. FLORMAN (1976) - <i>The existential pleasure of engineering</i>  Amartya SEN (1981) - <i>Poverty &amp; famines. An essay on entitlement deprivation</i>  F. E. TRAINER (1985) - <i>Abandon Affluence and Growth: Ecology and Capitalism in the World Today</i>  Donella MEADOWS, Dennis MEADOWS, Jørgen RANDERS (1972) - <i>The Limits to Growth</i>  Donella MEADOWS, Dennis MEADOWS, Jørgen RANDERS (1992) - <i>Beyond the Limits: Confronting Global Collapse; Envisioning a Sustainable Future</i>  Wolfgang SACHS, Editor (1992) - <i>The Development Dictionary: A Guide to Knowledge as Power</i>  Richard WHITE (1995) - <i>The organic machine: the remaking of the Columbia river</i>  Jeremy STONE (1999) - <i>Every Man Should Try: Adventures of a Public Interest Activist</i></p>
---

Tableau 1. « Classiques » de la littérature sur l'écologie et le développement sélectionnés par ERG

À titre d'exemple, le tableau 1 présente certains ouvrages sélectionnés en ERG. On peut constater que cette liste ne comporte que des ouvrages anglophones. Auteurs des pays du Sud (pays sur lesquels portent pourtant bon nombre d'études de ce département) ainsi que francophones semblent peu lus outre-Atlantique alors qu'ils ont influencé la vision francophone des questions liées à l'environnement et que certains proposent une vision systémique globale intégrant écologie et économie (I. Sachs, J. De Rosnay, R. Passet, R. Dumont, E. Morin, etc.).

L'élève ingénieur français peut souvent valider ses modules sans chercher d'information en dehors de celles qui lui ont été transmises par ses enseignants et sans consulter de références bibliographiques pour approfondir et contextualiser ses connaissances. Cette absence de mise en contexte de la connaissance était déjà dénoncée, en 1975, par J. de Rosnay qui définissait les « bases » de l'enseignement, de manière volontairement caricaturale, comme « *les connaissances qu'il faut maîtriser avant de savoir à quoi elles vont nous servir* » (De Rosnay, 1975, p. 260). Encourager la lecture de références bibliographiques implique un travail personnel plus important de la part de l'apprenant, mais aussi la nécessité, pour l'enseignant, d'accepter de ne plus être considéré par ses élèves comme détenteur unique de la connaissance, mais seulement comme un relais, voire d'une vision partielle, de cette connaissance. Une telle approche semble toutefois nécessaire pour mettre en contexte les informations transmises aux apprenants afin que ces derniers construisent leurs propres connaissances à partir des différents éléments qu'ils auront collectés.

### **2.3. Enseigner la condition humaine par une ouverture sur les autres**

Confronter les étudiants avec des individus *a priori* différents d'eux peut les aider à assimiler le fait que, malgré les diversités culturelles, certains aspects soient intrinsèques à l'identité humaine et communs à tous les individus, au-delà de leurs différences.

En France, la plupart des écoles d'ingénieurs françaises encouragent l'ouverture internationale et culturelle de leurs étudiants en les aidant à effectuer une partie de leur scolarité à l'étranger. On peut citer les programmes d'échange ERASMUS qui peuvent concerner tout élève de deuxième cycle. De telles expériences accroissent la connaissance des cultures des autres pays, l'autonomie et les capacités d'adaptation des étudiants. L'ouverture peut également passer par la mise en présence et en relation d'individus ayant des profils et des cultures différents au sein même de l'établissement de formation. C'est un choix qui a été fait par ERG, par exemple, qui, pour sélectionner ses membres (enseignants et étudiants), s'assure de la variété de leurs formations, cursus professionnels et universitaires, et provenances géographiques.

Une telle diversité de profils, en interne, associée à une organisation du département qui incite aux échanges, et à l'expression des controverses (séminaires communs, par exemple), permet de mettre en confrontation les arguments, hypothèses, positions et idéologies propres à chacun et aux différentes disciplines représentées afin de faire apparaître caractères communs et spécificités respectives. Cette diversité et ouverture se traduisent également au niveau des champs scientifiques : pour aider chaque étudiant à devenir « *intelligent* » dans les matières qu'il aborde (c'est-à-dire en connaître les bases et être capable de comprendre et critiquer de nouveaux travaux), des accords sont établis avec d'autres centres pour permettre aux étudiants d'être co-encadrés ou de suivre des cours dispensés par des spécialistes. Ce programme interdisciplinaire se positionne donc en complémentarité, et non en concurrence, avec les programmes d'enseignement et recherche disciplinaires « classiques ».

#### **2.4. Enseigner l'identité terrienne par la confrontation au quotidien**

La « *science du quotidien* » offre de nombreuses opportunités de recherche aux étudiants et chercheurs désirant étudier de façon interdisciplinaire les conditions d'un développement qui satisfasse les besoins véritables des êtres humains tout en préservant les ressources naturelles (Kammen & Dove, 1997). Cette confrontation à la vie quotidienne encourage les approches empiriques fondées sur des problèmes concrets. Cette confrontation au quotidien permet également de montrer que chacun peut être acteur de changements concrets allant dans le sens d'un meilleur respect de l'environnement.

Un exemple de l'application de ce principe au sein d'une formation d'ingénieur (École des mines de Saint-Étienne / Institut supérieur des techniques productiques) est la réalisation, par des élèves en formation continue ou par alternance, du pré-diagnostic environnemental de leur propre entreprise. Cela leur permet d'observer, dans leur entreprise, des comportements qu'ils ignoraient, de prendre conscience de la complexité liée à l'intégration de l'environnement mais aussi de réaliser que cette dernière n'est pas seulement une préoccupation d'écologistes en les amenant à se rendre compte que certains changements stratégiques de leur entreprise avaient pour cause des motivations liés aux enjeux environnementaux. Un tel exercice illustre donc l'intérêt d'aider l'apprenant à observer son quotidien (l'entreprise) sous un angle nouveau (à travers les questions liées à l'environnement).

#### **2.5. Aider à gérer l'incertitude par des méthodes de résolution des problèmes**

Les travaux de recherche peuvent aider les décideurs à réduire l'incertitude en les aidant à conceptualiser et quantifier coûts, bénéfices et

impacts des problèmes rencontrés et solutions envisageables (Kammen, 1996). J. Harte (1985) et Kammen & Hassenzahl (1999) proposent à cette fin la technique du « calcul au dos d'une enveloppe » qui consiste à :

- 1. Faire un tour d'horizon du problème pour en comprendre les mécanismes de façon qualitative, estimer l'ordre de grandeur et identifier les informations manquantes ;
- 2. Concevoir un modèle mathématique du problème, y intégrer les données connues et faire des hypothèses (éventuellement grossières mais explicites) sur les autres ;
- 3. Étudier la robustesse du modèle en modifiant des hypothèses et des données. Cela permet d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche pour mieux comprendre le problème et évaluer l'impact, sur le résultat, de l'incertitude sur les données.

La résolution de l'incertitude peut également se faire par la mise en place de procédures décisionnelles plutôt que par une évaluation quantitative systématique. C. Brodhag (2000) montre la nécessité, pour gérer l'incertitude, de mettre en place le principe de précaution et de s'appuyer sur des démarches d'amélioration continue qui permettent de réajuster constamment les actions prises à leurs conséquences et à l'évolution de leur contexte. Ainsi, les programmes d'enseignement de deuxième cycle permettent d'accroître la rationalité procédurale des élèves (par l'enseignement de méthodes de résolution de problèmes, de management, de conduite de projets, etc.) plutôt que leur rationalité substantive, considérée comme acquise au cours des années précédentes. Les démarches d'amélioration continue impliquent une évaluation, et donc une quantification systématique des actions menées. Les deux approches : procédurale (outils de management) et substantive (« *calcul au dos des enveloppes* ») semblent donc complémentaires.

## **2.6. Enseigner les mécanismes de la compréhension en stimulant la créativité**

Chaque étudiant peut apprendre à apprendre si on le laisse construire sa propre approche et si on l'autorise à dévier de celle qu'il avait prévue initialement lorsqu'il se rend compte que ce n'est pas la plus pertinente. Cette approche est choisie par certains enseignants de ERG qui déclarent à leurs étudiants « *qu'il n'y a pas de règle unique à suivre et que le chemin pour aller d'un point A à un point B n'est ni unique ni clairement défini à l'avance* ». Laisser aux étudiants une large marge d'autonomie pour choisir leur sujet de recherche et leur méthodologie stimule la créativité et facilite l'appropriation des concepts sur lesquels ils travaillent. Cependant, cela implique aussi de baser les rapports professeurs/élèves sur un échange mutuel, d'accepter que les travaux des étudiants prennent plus de temps qu'avec une approche plus directive et que l'étudiant n'obtienne pas toujours

le résultat escompté. Dans certains cas il peut même arriver qu'il n'obtienne aucun résultat si, par exemple, il ne possède pas un sens de l'initiative suffisamment développé et ne comprend pas les objectifs que l'on peut attendre de lui.

## 2.7. Enseigner l'éthique du genre humain en encourageant à « se concentrer sur ce qui importe vraiment »

Comment accompagner les étudiants dans leur questionnement éthique, voire métaphysique, tel que le prônent Schumacher (1973) ou Morin (1999), est un sujet plus difficile à aborder car on touche alors à des questions de hiérarchisation des valeurs personnelles. Le modèle éducatif français s'appuie sur le système de légitimité rationnel-légal, décrit en 1919 par M. Weber (1980) qui préconise une distinction nette entre le rôle de « savant » et celui de « politique » : « *La politique n'a pas sa place dans la salle de cours d'une université* ». Selon ce modèle, l'enseignement scientifique est supposé être totalement dénué de considérations sur les valeurs. Une des justifications de ce principe est la relation asymétrique de pouvoir qui existe entre l'enseignant, qui est dans une position de domination, et les étudiants. Cependant, outre la mise en cause apportée par certains auteurs du fait qu'il serait possible d'enseigner en ne laissant transparaître aucun jugement de valeur, le rôle de l'expert, à l'intersection entre savants et politiques, vient questionner ce modèle. En effet, en situation d'incertitude et de controverses scientifiques telles que celles que l'on rencontre autour des questions environnementales, l'expert définit souvent un éventail de choix acceptables parmi un nombre plus grand de possibilités. Ce choix, qui influence la décision du politique, peut implicitement faire appel aux jugements de valeurs propres à l'expert sous couvert de ses compétences scientifiques (Roqueplo, 1991). P. Roqueplo (1991), sans remettre en cause la nécessité de recherche d'objectivité de la part de la communauté scientifique, souligne la nécessité d'apprendre à articuler « *connaissances molles* » et prises de décisions politiques grâce à la pratique d'une certaine « *éthique de l'objectivation* ». Il semble pour cela intéressant d'aider les futurs ingénieurs à prendre du recul par rapport aux valeurs et idéologies sous-jacentes aux différentes connaissances. Mais comment permettre aux étudiants d'acquérir cette capacité de prise de recul philosophique et éthique ? Certaines écoles d'ingénieurs françaises, telles que l'université de technologie de Troyes, introduisent des enseignements de philosophie dans leurs programmes. Le choix des enseignants de ERG est de faire émerger un débat sur ces questions en rappelant aux étudiants qu'il « *ne leur reste plus que 16 000 à 18 000 jours à vivre, et qu'il faut qu'ils en tirent le meilleur en se concentrant sur ce qui importe vraiment* ». Les séminaires de travail donnent souvent lieu à des discussions et confrontations de points de vue. De plus, l'engagement dans la vie politique et associative est accepté voire encouragé, à tous les

niveaux : des étudiants participent à la commission énergie de la municipalité de Berkeley et des professeurs tels que J. Holdren et D. Kammen ont participé au comité scientifique et technologique du président Clinton.

Les élèves ingénieurs sont généralement des jeunes de 20 à 25 ans arrivés à ce niveau d'études grâce à une bonne adaptation au système scolaire, des capacités dans les matières scientifiques et l'influence d'un entourage parental et professoral. C'est souvent dans sa dernière année d'études que l'élève ingénieur va commencer à se poser des questions sur ce qu'il veut vraiment faire de sa vie. À la fin de cette année charnière, il sera ingénieur et on lui demandera d'être « *un citoyen responsable assurant le lien entre les sciences, les technologies et la communauté humaine* » (CNISF, 2001, p. 1). Mais les programmes pédagogiques actuels des écoles d'ingénieurs lui permettent-ils de réfléchir à « *ce qui importe vraiment* » pour lui et la société dans laquelle il va dorénavant jouer un rôle actif ? Lui donnent-ils les moyens de prendre conscience de l'impact de ses décisions futures sur la société et l'environnement ? Lui laissent-ils toujours le temps et l'occasion de réfléchir aux valeurs qui guident sa vie pour faire des choix qui seront déterminants pour sa carrière professionnelle et son positionnement au sein de la société ?

### 3. CONCLUSION

Les écoles d'ingénieurs françaises pratiquent depuis longtemps la pluridisciplinarité pour former des ingénieurs généralistes. Une réflexion sur les défis posés à « *l'éducation du futur* » (Morin, 1999), du fait de l'évolution de la société et des risques écologiques, nous conduit à avancer l'hypothèse qu'un des éléments de réponse à ces défis est de stimuler les échanges entre les diverses disciplines afin d'aider les étudiants à acquérir une meilleure vision globale de l'ensemble des disciplines abordées au cours de leur cursus. Nous posons ensuite l'hypothèse qu'il est nécessaire d'apporter aux étudiants une réflexion sur les méthodes de l'interdisciplinarité afin de les aider à éviter certains écueils. Nous présentons alors quelques « trucs » formalisés au sein du département Energy and Resources Group de l'université de Californie, à Berkeley, afin d'aider ces membres à étudier, de façon interdisciplinaire, des questions liées au développement et à la préservation des ressources naturelles. Cette liste de conseils ne se veut pas exhaustive ni prescriptive, mais espère seulement être un élément d'un vaste débat sur la façon dont les programmes d'enseignement peuvent contribuer à former, non seulement des ingénieurs, mais des ingénieurs humains et citoyens de la planète Terre.

## BIBLIOGRAPHIE

- BRODHAG C. (2000). Évaluation, rationalité et développement durable. *Colloque de la société française d'évaluation*. Rennes, Société Française d'Évaluation.  
<http://www.agora21.org/articles/brodhag00a.htm>
- CALLON M., LASCOUMES P. & BARTHES Y. (2001). *Agir dans un monde incertain - Essai sur la démocratie technique*. Paris, Seuil.
- CINI M. (1991). Normes et valeurs dans la construction de la science. In J. Theys (dir.), *Environnement, science et politique, les experts sont formels*. Paris, GERMES, pp. 95-108.
- CONSEIL NATIONAL DES INGÉNIEURS ET DES SCIENTIFIQUES DE FRANCE (2001). *Charte d'éthique de l'ingénieur*.  
<http://www.cnisf.org/fr/telecharge/charte-ethique.pdf>
- CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT (1992). *Rapport de la conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement*. Rio de Janeiro.  
<http://www.agora21.org/institutions.html>
- DELATTRE P. (2003). Recherches interdisciplinaires. In *Encyclopedia Universalis*, Encyclopedia Universalis France SA (éds).
- DE ROSNAY J. (1975). *Le macroscopie - Vers une vision globale*. Paris, Seuil.
- DUPUY J.-P. (2003). Le problème théologico-scientifique et la responsabilité de la science. In *Premières Rencontres Science et Décideurs - Prévenir et gérer les risques*. Poitiers, Ministère de la Recherche et des Nouvelles technologies.  
<http://ensmp.net/pdf/2003/PbTheologicoScientifique.pdf>
- ENERGY AND RESOURCES GROUP (2002). *All about ERG*.  
<http://socrates.berkeley.edu/~erg/Pages/abouterg.html>
- FLORMAN S.C. (1976). *The existential pleasure of engineering*. New York, St Martin's Press.
- HARTE J. (1985). *Consider a spherical cow: a course in Environmental problem solving*. Los Altos, William Kaufmann Inc.
- KAMMEN D.M. (1996). *A personal introduction to opportunities and resources for research and activism in energy and environmental science and policy*.  
<http://socrates.berkeley.edu/~kammen/EnergyJobs.htm>
- KAMMEN D.M. & DOVE M.R. (1997). The Virtues of Mundane Science. *Environment*, vol. 39, n° 6, pp. 10-15, 38-41.
- KAMMEN D.M. & HASSENZAHN D.M. (1999). *Should we risk it? Exploring environmental, health, and technological problem solving*. Princeton, Princeton University Press.
- KOOMEY J. (2001). *Turning numbers into knowledge*. Oakland, Analytic Press.
- LEFEUVRE J.-C. (1991). Des certitudes de l'expert aux doutes du scientifique. In J. Theys (dir.), *Environnement, science et politique, les experts sont formels*. Paris, GERMES, pp. 15-16.
- MORIN E. (1990). Sur l'interdisciplinarité. In *Carrefour des sciences, Actes du colloque du comité national de la recherche scientifique interdisciplinarité*. Paris, éditions du CNRS.  
<http://perso.club-internet.fr/nicol/ciret/bulletin/b2c2.htm>
- MORIN E. (1999). *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*. Paris, Unesco.  
<http://www.agora21.org/unesco/7savoirs/7savoirs02.html>
- NORGAARD R.B. (2002). Optimist, Pessimists and Science. *Bioscience*, vol. 52, n° 3, pp. 287-292.
- PIVOT A. & LEROY P. (2001). La transdisciplinarité : un mythe ou une réalité ? Compte rendu de symposium. *Natures sciences sociétés*, vol. 9, n° 1, pp. 66-70.
- ROCHE V. (2000). *Impacts de l'incertitude et de l'ambiguïté sur la pratique des systèmes d'information à références spatiales*. Thèse de doctorat en Sciences et Techniques du Déchet, ENS des mines de Saint-Étienne.

ROQUEPLO P. (1991). L'expertise scientifique : convergence ou conflit de rationalités. In J. Theys (dir.), *Environnement, science et politique, les experts sont formels*. Paris, GERMES, pp. 43-80.

SCHUMACHER E.F. (1999). *Small is beautiful – Economics as if people mattered – 25 years later with commentaries*. Vancouver, Hartley & Marks publisher.

WEBER M. (1980). *Le savant et le politique*. Paris, 10/18.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions la Région Rhône-Alpes qui a financé le séjour de trois mois de Natacha Gondran au sein de ERG.

Cet article a été reçu le 16/06/2003 et accepté le 15/12/2003.