

ELEMENTS D'UNE CRISE « POST-MODERNE » DANS LA FORMATION SCIENTIFIQUE DES INGENIEURS

L. BOT¹

Equipe de recherche Formation et Professionnalisation des Ingénieurs, CRF-CNAM (EA n°1410),
Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs d'Etudes et des Techniques d'Armement,
2 rue François Verny, 29806 Brest cedex – France
e-mail : ludovic.bot@ensieta.fr

RESUME

La légitimité des formations supérieures scientifiques est devenue problématique dans le contexte de crise de la modernité que nous connaissons et qui véhicule des reconfigurations importantes dans les rapports aux savoirs, notamment scientifiques. Les formations d'ingénieurs semblent moins touchées parce qu'elles restent reconnues en terme de professionnalisation et gardent de ce fait des effectifs importants. Pourtant, leur volet « scientifique » n'échappe pas à la « crise » et la référence exclusive à la professionnalisation pourrait masquer le fait que l'idéal positiviste de la formation scientifique ne fonctionne plus sur le plan éducatif, alors que le positivisme reste le ressort principal du développement des sciences contemporaines et implicitement très présent dans les représentations des enseignants-chercheurs qui assurent l'enseignement des sciences dans les écoles d'ingénieurs.

MOTS-CLES

Post-modernité, éclatement des savoirs, formation scientifique, positivisme, professionnalisation, académisation des formations d'ingénieurs.

INTRODUCTION

Les formations d'ingénieurs sont le lieu d'une tension entre des logiques de savoirs académiques et des logiques de professionnalisation. En France, l'affirmation des spécificités

¹ Cet article a été publié dans la revue *Les sciences de l'éducation – Pour l'Ere nouvelle* (CERSE – Université de Caen), vol. 40, n°3, 2007, pp. 31-57.

des écoles d'ingénieurs par rapport aux cursus universitaires se fait souvent sur l'axe de la professionnalisation. Cette spécificité est mise en avant par les responsables des formations soucieux d'en assurer la légitimité sociale, mais aussi par des chercheurs en éducation et par des communautés enseignantes constituées autour d'inspirations pédagogiques particulières (pédagogies par projet, pédagogies actives, apprentissages par situations-problèmes, etc.) qui cherchent à se différencier des méthodes d'enseignement traditionnelles.

Sans nier l'importance de la professionnalisation, nous voudrions attirer l'attention sur le fait que les mêmes raisons qui sont invoquées pour des références à des formes renouvelées de professionnalisation sont également à l'origine d'un mouvement d'académisation des formations d'ingénieurs. Parmi ces raisons, on trouve la mondialisation des économies, l'internationalisation des études supérieures, l'avènement d'une société de l'information et de la connaissance, la dématérialisation des activités des cadres et des évolutions dans les rapports aux savoirs.

Ceci nous conduit à poser la question des épistémologies sous-jacentes aux savoirs scientifiques et à leurs évolutions contemporaines. De ces évolutions, qui restent difficiles à caractériser, nous retiendrons l'une des conséquences les plus visibles pour notre propos : l'idéal moderne d'une formation de l'esprit par la raison scientifique, à la fois voie d'épanouissement et de reconnaissance sociale pour l'individu et base de progrès pour la société, fonctionne de moins en moins comme horizon de légitimation des formations d'ingénieurs. Pourtant, les formations d'ingénieurs françaises restent prestigieuses. Pour comprendre cette situation, nous proposons dans cet article de lire la référence un peu obsédante à la professionnalisation² comme un mode de légitimation permettant de faire face à la crise « post-moderne » que connaît l'idéal éducatif positiviste qui fut pourtant la matrice historique du développement des formations d'ingénieurs.

Précisons que nous restreignons le terme « scientifique », ainsi que notre champ d'investigation, aux disciplines des sciences de la matière, du raisonnement et du calcul³, et laissons de côté les problématiques de formation plus spécifiques aux sciences humaines, aux

² Référence validée par la réussite objective de ces écoles en terme d'insertion de leurs diplômés comme cadres sur le marché du travail, mais sans que l'on sache toujours de quoi résulte cette réussite en terme de choix concrets de formation (notamment dans les disciplines scientifiques).

³ Physique, mathématiques, informatique et leurs sous-disciplines et hybridations réciproques.

sciences de gestion ou aux humanités. Nous laissons également de côté la question des stages dont le rattachement à des objectifs de professionnalisation est plus direct. Enfin, nous ne désignons ici en terme de « formations d'ingénieurs » que les formations initiales suivies « à plein temps » sous statut d'étudiant, ce qui exclut les dispositifs de formation continue et de formation par alternance. Ceci n'est pas anodin pour notre propos dans la mesure où, faute d'expérience personnelle en entreprise pour étayer leurs motivations pour suivre des enseignements scientifiques, les étudiants concernés sont certainement plus sensibles aux différentes représentations et éléments « d'ambiance culturelle et sociale » que notre société véhicule quant aux notions parfois vagues de « formation scientifique » ou de « devenir ingénieur », et sont probablement moins réceptifs à des arguments de légitimation des formations directement liés à l'idée de professionnalisation qui peut leur paraître lointaine.

De fait, la formation scientifique des ingénieurs ne s'organise pas de façon évidente par rapport à des objectifs clairs de professionnalisation tels qu'on les trouve par exemple de plus en plus fréquemment exprimés via des démarches « compétences » (Bot 2007a, Postiaux 2007, CEFI 2005, CEFI 2006a). La logique d'académisation à l'œuvre dans les écoles représente une évolution au moins aussi déterminante que ces logiques « compétences » qui tendent d'une certaine façon à la contre-balancer. Pour comprendre les évolutions actuelles des formations d'ingénieurs, il nous semble qu'au-delà des références externes à la professionnalisation, il faut aussi tenir compte des problématiques internes aux sciences contemporaines.

Nous tenterons dans un premier temps d'éclairer d'une part les contradictions auxquelles ont à faire face les scientifiques dans leurs missions de formation, d'autre part les ressorts des évolutions dans les rapports aux savoirs scientifiques à partir d'analyses faites sur « la post-modernité ». Nous énoncerons alors les deux thèses que cette article propose pour comprendre les évolutions actuelles des formations d'ingénieurs (au moins leur pôle « scientifique »). Nous détaillerons ensuite ces deux thèses sur le cas un peu paradigmatique des enseignements d'informatique. Nous montrerons en quoi le cas de cette discipline possède un caractère englobant par rapport à la crise que la notion de « post-modernité » ouvre dans la formation scientifique des ingénieurs et qui semble bien concerner toutes les sciences. Nous conclurons enfin sur quelques perspectives de recherche que pourraient ouvrir les analyses proposées dans le but de compléter les études faites sur les formations scientifiques supérieures et d'étayer nos hypothèses.

LE « PARADOXE POSITIVISTE »⁴

A la suite d'autres analyses (Lyotard, 1979), nous reprenons le terme de « post-modernité » pour dire toute la difficulté que nous avons à qualifier les évolutions contemporaines dans les rapports aux savoirs, notamment scientifiques, mais aussi pour dire toute leur importance pour notre propos. Une éventuelle mutation de la modernité vers une « post-modernité » ne peut laisser indemne la question de l'enseignement des sciences dans les symboles de la modernité à la française que sont encore les écoles d'ingénieurs. Alors que le positivisme, jusque dans certaines de ses « ramifications paradoxales » récentes (pragmatisme anglo-saxon, animalisation de la condition culturelle de l'humanité, positivisme logique), reste la matrice générale du développement des sciences (Kolakowski, 1976), son programme d'éducation scientifique, annoncé comme nécessaire et imminent sous différentes formes⁵ en fonction des époques (voir par exemple Durkheim, 1999, Giordan 1978, Charpak, 1998, 2004), semble finalement être caractérisé par son impossibilité (Kerlan, 1998).

Même si ce dernier auteur ne reprend pas le terme de « post-modernité », son analyse de ce « paradoxe positiviste » (Kerlan, 1999) montre bien combien l'idée d'une valeur éducative dévolue aux sciences reste une idée traditionnelle (proche de la conversion chrétienne) ou à peine moderne, alors que le positivisme s'imposa par ailleurs, sous des formes dévoyées ou amputées, comme la philosophie naturelle qui accompagna le développement des sciences vers leur état actuel, que nous choisissons de désigner comme « post-moderne »⁶.

⁴ Cette expression est empruntée à Kerlan, 1999.

⁵ Ces différents constats que quelque chose ne va pas dans l'enseignement des sciences et qui se prolongent par des appels à la re-fondation de l'idée de formation scientifique ne se réclament pas tous explicitement du positivisme et peuvent être assez inhomogènes. Mais le simple fait qu'ils partent d'une part d'un soi-disant écart croissant entre les besoins de la société, besoins décrits en terme de place prépondérante prise par les sciences et les techniques, et l'état d'une culture scolaire et intellectuelle qui aurait gravement délaissé les sciences au profit d'un refuge dans des futilités philosophiques ou littéraires, et d'autre part de l'idée que les sciences auraient à remplir pour la société contemporaine une mission éducative à part entière qui transcende la simple érudition et contenus de connaissance qu'elles auraient à faire apprendre, permet de rapprocher les différents appels auxquels il est fait référence ici du positivisme d'Auguste Comte. Pour une analyse plus détaillée, voir Kerlan, 1998 et Kerlan, 1999.

⁶ La principale caractéristique d'une « science post-moderne » sera pour nous la fragmentation (ou l'éclatement) des savoirs scientifiques qui, ne pouvant plus être articulés les uns avec les autres au sein d'une synthèse réputée impossible, sont obligés de se légitimer par eux-mêmes et par bribes (par exemple via des applications technologiques) et rentrent par le fait même en concurrence les uns avec les autres. Ceci discrédite ces savoirs scientifiques ou tout idéal de « raison scientifique » comme socle de la légitimation de l'idée de formation, car cette idée suppose la recherche d'une unité minimum (Fabre, 1994). Restaurer une unité éducative au-delà de l'éclatement de l'encyclopédie scientifique était déjà l'ambition de Durkheim (voir Kerlan,

C'est donc tout un pan de l'ambition d'Auguste Comte autour des idées de formation scientifique et d'avènement de l'Humanité par la pratique des sciences positives qui tombe. Ce pan est celui de la « synthèse subjective » qui devait garantir son unité au programme positiviste, face auquel il ne reste plus que l'axe de « l'analyse objective » (Kolakowski, 1976) qui conduit à l'éclatement d'aujourd'hui.

L'avènement de la subjectivité individuelle est bien sûr un élément de la modernité et d'évolution vers la « post-modernité » que Comte redoutait et contre lequel son programme éducatif se voulait un garde-fou. Dans sa pensée, la « synthèse subjective » est celle de « l'homme en tant qu'être dont l'existence est entièrement définie par sa situation sociale » (Kolakowski, 1976, p. 83). L'existence individuelle est pour Comte une fiction à laquelle il faut substituer une conception organique de la société évoluant chez lui vers le culte de l'Humanité en tant que seul *individuum* réel (et qu'il finit par diviniser). Est ainsi associé au positivisme un anti-individualisme radical qui devient difficile à tenir face aux aspirations actuelles.

Cette notion de « synthèse subjective » menant à la divinisation de l'Humanité et à des développements pour le moins romantiques et apparemment contraires à l'inspiration initialement anti-métaphysique du positivisme a été rejetée dès les premiers disciples de Comte au profit du « premier positivisme », celui de « l'analyse objective » par la progression à travers les différentes sciences positives (Kolakowski, 1976). Mais Comte était clairvoyant sur le fait que sans principe synthétique, son positivisme ne pouvait prétendre à une mission éducative et menait à l'éclatement des savoirs (Kerlan, 1998). Les analyses que nous reprenons ici partent du principe que le positivisme complet de Comte est en partie contradictoire et se cache à lui-même sa propre contradiction sous la forme d'un programme éducatif qui semble impossible. Ce qui est passé dans la culture contemporaine via le développement des sciences et leur enseignement est un positivisme qu'on peut dire « dévoyé », amputé de « la synthèse subjective ». Si le positivisme complet d'Auguste Comte peut apparaître comme une tentative de réaction contre l'éclatement pressenti des savoirs scientifiques, le positivisme « dévoyé » en constitue plutôt la trame ou l'acceptation. Mais il renonce du même coup à toute ambition éducative.

1998, pp. 53-56). Mais du fait de son anti-individualisme, cette unité ne peut pas résider pour le positivisme dans la personne en formation prise comme sujet autonome et seule finalité de l'éducation.

Par leur grande pluridisciplinarité et leurs modes de sélection des étudiants, les formations d'ingénieurs reprennent la progression encyclopédique définie par Comte (des mathématiques jusqu'à la sociologie voire jusqu'à la morale⁷), au point que certaines de leurs difficultés semblent directement liées à une vision positiviste de la formation⁸. Comme nous le verrons plus loin, cette vision engendre des programmes impossibles.

Partant de ces analyses et de notre expérience à la fois des sciences contemporaines et des formations d'ingénieurs, nous voudrions articuler deux thèses qui permettraient de renouveler ou d'élargir l'étude des formations d'ingénieurs en intégrant ces évolutions de fond qui agitent les sciences. La première thèse est celle déjà évoquée de l'académisation. Le phénomène nous paraît massif et difficilement contestable. Nous le décrirons dans la prochaine partie. La seconde thèse est une proposition qui consisterait à décrypter l'insistance mise sur les objectifs de professionnalisation comme une façon de continuer à légitimer les enseignements scientifiques au-delà du divorce latent mais profond entre idée éducative et épanouissement de l'individu d'une part et contenus des disciplines scientifiques d'autre part. Ce divorce résulte du « paradoxe positiviste » dans lequel sont immergés les enseignants-chercheurs scientifiques, mais qui concerne aussi les étudiants qui, bien qu'appartenant à leur époque, ont pourtant fait le choix d'études scientifiques.

Cette hypothèse nous paraît en effet utile pour rendre compte d'un certain « désenchantement » qui se fait jour dans les formations d'ingénieurs, concernant en particulier le pôle de la formation scientifique dont la légitimité ne semble plus aussi évidente qu'auparavant. Les idéaux de formation scientifique et/ou de progrès technologique qui ont pu légitimer les formations d'ingénieurs ne subsiste plus que sous la forme de la bonne réputation des écoles d'ingénieurs françaises pour assurer un emploi de cadre à leurs diplômés. Sans tomber dans la caricature, il faut prendre en compte les réalités suivantes : on devient étudiant dans une école d'ingénieurs pour s'assurer contre le chômage et sous une certaine pression sociale consistant à éviter l'université lorsqu'on a été repéré bon élève en sciences dans le secondaire. La « voie royale » est souvent le moyen de réaliser ce potentiel scolaire en

⁷ Cette dimension de la « morale » n'est pas absente des grandes écoles, qu'on pense à des références à des enseignements « d'éthique », à des projets d'évaluation du « comportement professionnel » des étudiants, à des injonctions à s'investir dans des activités sociales, etc.

⁸ Voir par exemple Kolakowski, 1976, p. 71 où on reconnaît sans difficulté certains projets pédagogiques explicites et encore actuels d'écoles d'ingénieurs.

l'absence de projet professionnel ou personnel précocement bien identifié, d'où d'ailleurs une certaine difficulté de la part des écoles à s'adresser à des étudiants peu déterminés dans leurs choix. Pour partie, on devient également enseignant-chercheur dans le laboratoire de recherche scientifique d'une école d'ingénieurs par défaut d'un recrutement dans un laboratoire universitaire ou du CNRS, ou pour y trouver davantage de moyens qu'à l'université pour mener ses travaux de recherche.

Dans beaucoup d'écoles d'ingénieurs, l'idéal d'un projet de formation dans lequel l'étude des sciences participerait à l'épanouissement de l'individu⁹ est donc devenu assez lointain. On dévolue plus volontiers cette mission éducative aux activités extra-scolaires ou aux contenus dits « non-scientifique et non-techniques » de la formation, dans une opposition souvent assez manichéenne entre sciences humaines et sciences de la nature. Si quelques individus se réclament encore d'un idéal éducatif lié à l'étude des sciences, c'est le plus souvent pour noter le manque d'adhésion collective que soulève cette idée et les changements de fond qu'il y aurait à faire pour la rendre crédible.

Un autre élément de la « crise » est « la désaffection des jeunes pour les cursus scientifiques » (Ourisson, 2002). Dans les universités françaises, les difficultés sont patentées en terme d'effectifs étudiants. Dans les écoles d'ingénieurs, les effectifs se sont globalement maintenus, grâce à la bonne réputation de ces formations en France, aux moyens importants dont elles disposent et à leur caractère professionnalisant validé par la relative facilité avec laquelle leurs diplômés trouvent des emplois de cadres. Collectivement, les écoles d'ingénieurs sont cependant dans une situation limite par rapport à leurs bassins de recrutement d'étudiants français. Il en résulte une forte concurrence entre les établissements. Il y a en France plus de places dans les écoles d'ingénieurs que dans les classes préparatoires¹⁰ et plusieurs secteurs (notamment l'informatique et quelques disciplines connexes) connaissent des déséquilibres structurels entre un nombre de candidats trop faible en amont par rapport aux capacités d'absorption du marché de l'emploi en aval des cursus de formation.

⁹ Ou à l'épanouissement de l'Humanité pour reprendre une formule plus conforme à une visée positiviste.

¹⁰ Rajoutons à ce constat qui date déjà de plusieurs années que depuis deux ans les classes préparatoires scientifiques des lycées français n'ont plus d'effectifs à la hauteur des places disponibles. Il est très probable que dans les années qui viennent des classes préparatoires scientifiques et des écoles d'ingénieurs devront fermer faute d'étudiants.

Ces phénomènes de « désaffection », dont les causes restent difficiles à analyser et sans doutes multiples, sont à l'échelle de l'Occident et constatés depuis le début des années 1990 (Ourisson 2002, Delpeuch 2006, CEFI 2006b). Il s'agit donc d'un phénomène social de grande ampleur qu'on peut verser au dossier global de la « post-modernité » et des évolutions des rapports aux savoirs scientifiques qui auront à relativement court terme des conséquences considérables sur la physionomie des métiers scientifiques dans les pays développés¹¹. Cette situation fait que les écoles d'ingénieurs forment actuellement la moitié des étudiants en sciences du pays.

Si la situation paraît donc globalement se maintenir pour les formations d'ingénieurs¹², on observe cependant que la dimension scientifique de ces formations n'échappe pas à ce contexte de crise. Alors qu'elle est la source historique principale de leur légitimité, cette dimension scientifique et technique se réduit au profit d'autres axes de formation (formation humaine, langues étrangères, formation à l'entreprise et au management,...) dont les écoles d'ingénieurs ont compris l'importance pour la valeur professionnelle de leurs diplômés, et qui semblent jouer un rôle palliatif important en terme de légitimation éducative (l'épanouissement de l'individu en formation) lorsque les sciences ne parviennent plus à jouer ce rôle. Cette situation pose des problèmes dans les disciplines scientifiques qui voient leurs volumes horaires diminuer, alors que les connaissances et les savoir-faire qu'elles pourraient ou devraient enseigner ne font qu'augmenter, comme l'illustre l'autonomie de plus en plus grande prise par l'informatique et qu'on généralisera à d'autres sciences.

Enonçons dès à présent une conséquence de l'articulation de nos deux thèses : l'académisation qui va être décrite n'est pas une simple « universitarisation » des formations d'ingénieurs. Sous l'effet de la « post-modernité » et de la fragmentation des savoirs scientifiques, c'est la notion même de « discipline universitaire » qui se trouve remise en cause. On le voit dans les réformes prônées au niveau national (Goulard, 2007) insistant à la fois sur

¹¹ Pour certaines disciplines comme la physique et ses sous-composantes, les effectifs ont chuté de 75% en dix ans. Il y a actuellement davantage de bourses de thèse en physique qu'il n'y a de candidats au doctorat, situation inimaginable il y a dix ans et en complet déséquilibre avec la situation des sciences humaines.

¹² Les effectifs d'ingénieurs diplômés ont augmenté ces deux dernières décennies suite aux nombreuses décisions de différentes tutelles et collectivités territoriales, voire de syndicats industriels, de créer de nouvelles écoles ou d'augmenter la taille des promotions des écoles existantes. Ceci n'a fait qu'amplifier la baisse des effectifs dans les cursus universitaires et accélérer l'avènement de l'état limite décrit plus haut pour les formations d'ingénieurs.

une nécessaire professionnalisation des formations universitaires sur le modèle des IUT et des grandes écoles et sur une intégration de celles-ci dans « des systèmes universitaires territoriaux ». La tendance est donc davantage à une hybridation réciproque qu'à la disparition d'un modèle de formation au profit de l'autre.

Mais remarquons que cette notion de professionnalisation reste opaque pour de jeunes étudiants qui n'ont aucune expérience professionnelle. Elle comprend également bien des pièges pour des enseignants et responsables de formations qui restent invités à transmettre des compétences transversales valables tout au long de la vie et qui permettront des reconversions professionnelles. Il s'agit donc de ne pas sacrifier à une adaptation socioprofessionnelle à trop court terme. Les recommandations en viennent à prôner une attention aux projets personnels des étudiants et aux services d'orientation et d'information sur les débouchés réellement constatés des formations.

On en revient donc en substance aux enjeux de notre seconde thèse : comment articuler les deux pôles du « paradoxe positiviste » avec d'un côté des métiers scientifiques demandeurs de compétences de plus en plus spécialisés et d'un autre côté un discrédit jeté à la fois en terme d'éducation et d'évolution professionnelle à long terme¹³ sur tout projet de formation qui n'intégrerait pas un objectif minimum d'unité de la personne par rapport auquel le positivisme latent des milieux scientifiques paraît hors-jeu ? Une partie de la réponse « post-moderne » à ce paradoxe réside dans le fait que toute personne en formation initiale a psychologiquement besoin de se voir proposer un avenir professionnel réaliste pour pouvoir s'épanouir dans le contexte économique actuel, une autre partie de la réponse étant laissée aux rapports de force qui s'expriment sur les marchés de l'emploi et de l'enseignement supérieur. Cette seconde dimension pousse d'ailleurs les écoles d'ingénieurs à communiquer sur les moyens d'épanouissement qu'offrent leurs campus, sans qu'on puisse raisonnablement classer le fait de pouvoir former son esprit aux sciences comme un des moyens fréquemment mis en avant.

¹³ Mais n'est-ce pas là la même chose : l'éducation de la personne vers plus d'autonomie tout au long de sa vie, si toutefois on restaure une continuité des trajectoires personnelles au-delà de la rupture symbolique que représente le diplôme ?

L'ACADEMISATION DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

Les recompositions provoquées par la mondialisation ne touchent pas que l'économie et les entreprises. Dans les sociétés les plus développées, c'est toute la chaîne de la création de la valeur qui est impactée, dans laquelle l'enseignement supérieur joue un rôle central. En fait de mondialisation, c'est essentiellement le modèle anglo-saxon qui s'impose, dans lequel toute activité d'enseignement supérieur est adossée à des activités de recherche.

Dans ce paysage, les écoles d'ingénieurs françaises souffrent de leur relative petite taille, qui les situent très en dessous des flux d'étudiants qui leur permettraient d'atteindre une bonne visibilité internationale et une certaine réciprocité dans les échanges. Cette relative petite taille rend problématique également le dégagement de ressources suffisantes pour une recherche d'excellence, premier critère pris en compte par les classements internationaux. L'orientation traditionnellement professionnelle de beaucoup d'écoles, qui consiste à faire appel à des vacataires issus des milieux professionnels qu'elles visent comme débouchés ou auxquels elles sont institutionnellement adossées comme les corps des ministères techniques, est une autre difficulté face aux exigences de production de recherches académiques.

Beaucoup d'écoles ont déjà intégré ces enjeux dans des stratégies de développement de laboratoires de recherche communs entre écoles, universités et grands organismes de recherche. Après ces premiers rapprochements par la recherche, se constituent maintenant des groupes d'écoles ou des instituts polytechniques autour de stratégies communes de formation qui brouillent l'ancienne distinction entre cursus universitaires et grandes écoles. Dans ce mouvement de mondialisation, les écoles d'ingénieurs françaises tentent de se faire reconnaître comme des universités (poly-)techniques, notion connue dans le monde anglo-saxon.

Cette évolution a comme conséquence une professionnalisation des corps enseignants comme enseignants-chercheurs spécialistes d'une discipline de recherche et recrutés sur des critères académiques. Ceci prolonge un mouvement de décontextualisation qui correspond par ailleurs à une tendance observée sur le long terme. Différentes études socio-historiques faites sur les écoles d'ingénieurs françaises (Ghaffari 2002, Grelon 1986, 1987, Garçon 2004, Hatchuel, 2006) montrent qu'une nouvelle école est souvent créée en rupture par rapport au paysage éducatif de son époque et en réponse à une demande de nouvelles compétences dans un secteur industriel précis ou par rapport à des évolutions marquantes de l'économie, de

l'organisation du travail ou des priorités des politiques publiques cherchant à orienter ces évolutions. Mais après une phase pionnière, et sans forcément renoncer à une identité propre, la stratégie des écoles tend à les rapprocher des élites installées, à les faire dépendre de moins en moins d'un seul secteur industriel, à diversifier les filières et à viser la formation d'un ingénieur « généraliste » ou « pluridisciplinaire ».

On comprend la logique d'un tel développement des écoles, qui est sans doute la seule façon de pérenniser un institut de formation au-delà du contexte qui l'a fait naître. Aujourd'hui, les capacités d'adaptation, la transversalité, l'autonomie du diplômé, son aptitude à gérer des situations complexes non définies d'avance, apparaissent comme des objectifs de formation indispensables mais qui cachent une certaine difficulté à contextualiser et à spécifier clairement les objectifs des formations d'ingénieurs dans un environnement marqué par un certain doute sur les finalités éducatives et des attentes parfois contradictoires de la société et des employeurs (Bot, 2005). Beaucoup d'écoles abandonnent leur identité « d'école professionnelle » pour une identité « d'école généraliste » et cette évolution est souvent parallèle au développement des activités de recherche (Hatchuel, 2006).

Illustrons cette évolution type par les propos tenus par le directeur¹⁴ d'une jeune école créée il y a dix-sept ans : « L'arrivée du laboratoire X¹⁵ a été une véritable opportunité pour l'école. Non seulement on est très satisfait de l'image qu'ils apportent, l'aura scientifique, mais on est aussi extrêmement satisfait par ce qu'ils apportent au projet pédagogique de l'école. Ils apportent une diversité qui est extrêmement riche par rapport aux gens de l'informatique et des STIC [...], même s'il a fallu reconfigurer très fortement le projet pédagogique, qui était défini au départ par la tutelle comme un projet de formation d'un ingénieur très spécialisé dans le domaine des STIC appliqués aux systèmes industriels : systèmes informatiques, automatique, productique. [...] Il y a eu aussi l'arrivée de Y¹⁶, qui a été une vraie opportunité, mais évidemment ça a rétroagit d'une manière importante sur la physionomie de l'informatique au sein de l'école. Il y a enfin eu l'arrivée du département environnement [...]. Donc j'ai

¹⁴ Extraits d'une interview réalisée le 28 mars 2006.

¹⁵ Il s'agit d'un laboratoire de recherche fondamentale en physique nucléaire.

¹⁶ Un enseignant-chercheur en informatique qui a été recruté pour prendre la direction du département de recherche en informatique de l'école.

reconfiguré à la fois le discours et les souhaits en terme d'évolution du projet pédagogique pour affirmer ce qui est tout simplement aujourd'hui la réalité ».

La « réalité » à laquelle il est fait ici allusion est la structuration et la diversification des activités de recherche suite à plusieurs opportunités que l'école a saisies. Ces opportunités sont décrites par l'interviewé comme « de vraies chances pour l'école, [...] mais qui ont engendré une évolution parfois chaotique ». Et l'interviewé de reconnaître que cette ouverture acquise au niveau des activités de recherche est « une condition nécessaire pour vivre, tout simplement, mais [qui] rend d'autant plus nécessaire l'idée de réfléchir et de travailler sur le projet d'établissement, ça le rend difficile, mais ça le rend nécessaire [...] ». L'école met en place des messages, des contre-feux si j'ose dire, de pilotage, de reconnaissance, car on est quand même dans une logique où un enseignant-chercheur, même s'il appartient à l'établissement, il se sent au moins autant membre de sa communauté scientifique que partie prenante de l'établissement [...] donc ces contre-pouvoirs qu'on essaye de mettre en place, ils sont à pondérer par, je dirais, la puissance de l'identité communautaire¹⁷, difficulté d'ailleurs accentuée par toutes les réorganisations dans le domaine de la recherche ».

L'ouverture d'activités de recherche, décrite comme nécessaires, a donc fortement modifié le projet pédagogique défini par la tutelle lors de la création de l'école. Cette académisation n'est pas une simple « universitarisation » disciplinaire car elle reste travaillée par les reconfigurations épistémologiques des sciences contemporaines et l'héritage historique des formations d'ingénieurs à la française dont beaucoup d'éléments sont sans doute à préserver. C'est plutôt une difficile alchimie entre les disciplines qui est recherchée par les responsables des formations, associée à des contrepoids visant à rappeler l'objectif d'intégration des savoirs et méthodes disciplinaires dans une logique de professionnalisation. Dans l'école étudiée ici, ce contrepoids prend la forme d'une « démarche compétences » dans laquelle la logique d'intégration des savoirs disciplinaires est particulièrement visible. C'est donc en éclairant les tensions et les contradictions internes à cette logique d'académisation et ses rapports à différentes formes possibles de professionnalisation qu'il nous semble fécond d'étudier les évolutions que connaissent les formations d'ingénieurs.

¹⁷ C'est à l'identité de la communauté des chercheurs d'une discipline scientifique donnée qu'il est fait ici allusion, pas à celle des formateurs d'un établissement de formation.

Illustrons ces tensions sur le cas des enseignements d'informatique. Le choix de cette discipline provient d'abord du développement considérable de ces enseignements qui résulte de l'universalisation des outils informatiques pour les ingénieurs et les scientifiques en général. Ces enseignements ont progressivement changé de physionomie dans les écoles d'ingénieurs suite à l'implication de plus en plus grande d'enseignants-chercheurs informaticiens (c'est donc un cas d'académisation) en réponse à de réels besoins de formation. Ce choix de l'informatique provient ensuite du fait que ces enseignements connaissent des difficultés importantes vis-à-vis des étudiants et des autres disciplines scientifiques dans plusieurs écoles.

Ces difficultés paraissent si répandues que nous pensons qu'elles concernent en réalité tous les cursus scientifiques ne formant pas des spécialistes en informatique. Le problème est cependant particulièrement aigu dans les écoles qui proposent un cycle de formation d'ingénieurs en trois ans succédant à deux ans de classes préparatoires et qui ne sont pas exclusivement spécialisées en informatique. C'est le cas des écoles sur lesquelles nous appuyons ici notre réflexion. Ces écoles ont plus de difficultés que les autres à « lisser » la rupture épistémologique que représente l'introduction d'enseignements d'informatique en cycle ingénieur par rapport aux pédagogies et aux disciplines traditionnelles pratiquées dans les classes préparatoires. Premièrement, elles n'attirent pas majoritairement des étudiants réceptifs aux types de raisonnements que demande l'informatique. Deuxièmement, elles disposent de peu de temps de formation à consacrer à l'informatique car cette discipline doit co-habiter avec les autres disciplines correspondant aux autres spécialités auxquelles le cursus doit également préparer. Troisièmement, elles doivent néanmoins investir les nécessités interne de la discipline informatique pour ceux de leurs étudiants qui choisiront une spécialisation informatique. Par rapport à ces écoles au sein desquelles se concentrent les contraintes, il est probable que les cursus intégrés en cinq ans sont mieux armés pour s'adapter à la « reconfiguration épistémologique » que nous allons maintenant examiner.

UN CAS DE RUPTURE EPISTEMOLOGIQUE

De quoi l'informatique est-elle une science ? Quelles sont ses valeurs d'objectivité, qu'est-ce qu'une explication scientifique en informatique ? « L'informatique est la science du traitement automatique de l'information » (Boksenbaum et Sallantin, 1999). L'informatique est une science de la forme. Elle traite d'informations qui n'ont pas à avoir de signification. Elle

n'a rien à expliquer ni à faire comprendre, c'est une science du « faire », de la manipulation, du calcul. Elle est sans ontologie (mais pas sans résultats), ne renvoie pas à des objets, mais à des fonctions, à de l'artificiel créé par l'homme.

L'informatique est née des travaux de Turing et von Neumann qui orientèrent les ordinateurs (automates et machines à calculer) vers l'universalité du calcul découverte dans le domaine de la logique formelle, de l'axiomatisation des mathématiques puis de leur arithmétisation par Gödel¹⁸. La rupture épistémologique qu'impliquent ces développements réside dans une « désontologisation » des mathématiques, qui prirent au début du XX^{ème} siècle une tournure conventionnaliste et axiomatique explicitée par le programme de Hilbert. Ce contexte est très marqué par des choix épistémologiques (le positivisme logique), mais aussi par des nécessités internes aux mathématiques. Devenait suspecte l'interprétation platonicienne (Longo, 1999) qui sert classiquement d'ontologie pour rattacher les mathématiques à une certaine forme de réalisme (même si c'est à une réalité des idées). Sous peine de contradictions remettant en cause la possibilité même des mathématiques, il n'était plus possible de proposer une interprétation des « concepts mathématiques » en terme « d'objets idéels » (Nagel, 1989) existants par eux-mêmes indépendamment du langage et des règles de sa construction. Pour Hilbert, « la certitude du calcul est dans l'absence de signification » (Longo, 1999).

Pour les mathématiques, cette « crise des fondements » fut finalement une péripétie restreinte aux seuls champs de la logique formelle et de la théorie des nombres, la discipline ne manquant pas par ailleurs de problèmes de recherche ni de notions à enseigner. L'épistémologie classique des mathématiques en terme d'un monde des idées à décrire objectivement restera d'une certaine efficacité, au moins sur le plan pédagogique. C'est sans aucun doute cette épistémologie de type platonicien qui est renforcée implicitement chez les étudiants par toute la tradition pédagogique de l'enseignement des mathématiques, classes préparatoires incluses.

¹⁸ Les informaticiens se réfèrent plus souvent aux travaux de Church sur le lambda-calcul et de Turing sur le problème de la décision et de la calculabilité qu'aux travaux de Gödel sur l'arithmétisation des mathématiques et des méta-mathématiques (la « gödélation ») qui aboutirent aux deux théorèmes d'incomplétude. Mais l'équivalence de ces trois approches a été démontrée. L'approche de Turing est de loin la plus utile aux informaticiens car elle permet de dire concrètement ce qu'est un ordinateur. Nous choisissons de dire les choses dans le cadre posé par Gödel car il s'agit du cadre le plus proche des mathématiques. Par la comparaison qu'elle permet, l'approche de Gödel est donc le cadre le plus adapté pour mesurer la rupture épistémologique que constituent les modes de raisonnement demandés en informatique par rapport aux représentations traditionnelles auxquelles les étudiants sont habitués en mathématiques.

Il n'en est pas de même en informatique pour laquelle la logique n'est pas une sous-discipline, mais la discipline mère. La problématique de la calculabilité des raisonnements donne une extension potentiellement infinie à l'informatique. Mais elle en donne également la limite via les théorèmes d'incomplétude de Gödel¹⁹ : il faut choisir entre la complétude²⁰ et la consistance²¹. Ceci fait d'emblée de l'informatique une science incomplète et contrainte de se rabattre vers un idéal d'efficacité au détriment d'une possible clôture de son objet. Ceci signifiait également l'impossibilité du programme de Hilbert. Face à cette déception, Gödel et Turing adopteront des philosophies différentes. Comme la plupart des mathématiciens, Gödel reviendra vers un certain platonisme (ou « intuitionnisme ») en acceptant l'existence de vérités mathématiques inaccessibles aux systèmes formels et auxquelles l'esprit humain aurait un accès direct.

A contrario, la machine de Turing n'était pour son auteur qu'une analogie (en réalité une explicitation) de ce qu'il considérait comme le seul fonctionnement possible du cerveau humain. Turing s'inscrivait dans la tradition de Hobbes et de Leibniz considérant que toute opération de notre esprit est un calcul. Ce « fonctionnalisme de Turing » (Siri, 1999) deviendra l'épistémologie naturelle de l'informatique et des sciences cognitives. Les conséquences de l'incomplétude et les doutes épistémologiques sur les différences entre l'intelligence humaine et « l'intelligence artificielle » seront quelque peu oubliés au profit des champs d'application immenses qui s'ouvraient à l'informatique.

On ne sort de « la crise des fondements » provoquée par les travaux de Gödel et à partir desquels Turing fonda l'informatique que par un choix épistémologique de fond quant à la nature de la connaissance mathématique. Soit il faut reconnaître que la vérité (ou la cohérence) en mathématiques ne s'identifie pas à la démonstration et garde donc une certaine

¹⁹ Le résultat équivalent dans l'approche de Turing est la réponse négative qu'il donne au problème de la décision posé par Hilbert, reformulé au préalable comme étant le problème de l'arrêt de la machine (Argon, 1999).

²⁰ La complétude est le fait que toute phrase vraie doit être démontrable au sens des fonctions récursives de Gödel ou calculable au sens de la machine de Turing.

²¹ La « consistance » est le fait que le langage doit être dénué de contradictions internes. C'est un anglicisme qu'on peut probablement mieux traduire par « cohérence », au sens où est cohérente une théorie dans laquelle on ne peut pas démontrer une chose et son contraire.

extériorité par rapport aux mathématiques²². Cette voie est celle privilégiée par beaucoup de mathématiciens, et notons qu'elle remet au centre du débat épistémologique la notion de « sujet » (en effet, qui d'autre pourrait être « extérieur » aux systèmes formels qu'un sujet de la connaissance mathématique ?). Soit il faut renoncer à toute signification prêtée aux questions sur le sens et la vérité, et se rapprocher d'un fonctionnalisme « post-moderne » qu'on peut rattacher à certaines formes du positivisme et qui pose de sérieuses questions en terme de formation dans ces domaines. Cette voie est celle privilégiée par les informaticiens, du moins tant que le nihilisme ou l'utilitarisme qui l'accompagnent souvent restent implicites.

Ce choix épistémologique et ses conséquences vont en général à l'encontre des idées intuitives ou implicites qu'ont les étudiants²³ sur ce que ce sont les mathématiques et la logique formelle. Et on peut comprendre qu'un étudiant ayant une intelligence intuitive ou synthétique, habituée à raisonner d'après des significations et non des processus formels, ait les plus grandes difficultés à s'approprier des enseignements d'informatique, alors que par ailleurs il peut être en situation de réussite dans les autres disciplines scientifiques dès lors qu'on ne lui demande pas de programmer²⁴.

Dans les formations d'ingénieurs, cette « rupture épistémologique » sous-jacente aux enseignements d'informatique n'est évidemment jamais travaillée comme nous le faisons ici. Elle reste implicite, et on observe, à en croire les enseignants en informatique, une grande différence entre un premier groupe d'étudiants, minoritaire mais important, qui s'approprient sans problème la discipline et un second groupe majoritaire d'étudiants qui peinent à acquérir les compétences de base en programmation devenues pourtant indispensables à la poursuite de tout cursus scientifique. Pour les informaticiens, l'existence du premier groupe, qui ne contient pas forcément les meilleurs étudiants d'une promotion, montre que les objectifs de leurs

²² Ce qui signifie tout sauf une défaite de la raison humaine, puisqu'au contraire la raison humaine peut être dite supérieure aux processus formels de démonstration. Mais cela signifie sans conteste une défaite du positivisme puisqu'il faut reconnaître la pertinence, pour les mathématiques, d'une notion de vérité *a priori* et qui leur est extérieure, c'est-à-dire impossible à construire comme connaissance positive.

²³ Et disons le clairement, qu'ont la plupart des êtres humains, au moins ceux intéressés par les mathématiques et donc qui y projettent quelques représentations ou idéal de connaissance, avant de s'être frottés aux théorèmes d'incomplétude.

²⁴ D'ailleurs, il n'est peut-être pas anodin de remarquer que les difficultés actuelles de l'informatique, qui mettent en cause le programme de l'intelligence artificielle esquissé par Turing, se situent dans des domaines, comme celui de la reconnaissance de formes, où il semble bien que l'esprit humain procède par synthèses et significations, et non par simple calcul.

enseignements ne sont pas démesurés. L'existence du second groupe les met parfois en porte-à-faux par rapport à leurs collègues des autres disciplines et aux directions des établissements. Nous faisons l'hypothèse, qu'il faudrait vérifier par des enquêtes ayant pour objectif d'identifier les représentations épistémologiques des étudiants ou les types d'intelligence qu'ils mettent en œuvre dans leurs apprentissages scientifiques, qu'on retrouverait dans le premier groupe des étudiants naturellement réceptifs²⁵ au fonctionnalisme de Turing et dans le second groupe des étudiants plutôt « platoniciens ».

Ces difficultés ont longtemps été contournées par l'implication des physiciens dans les enseignements d'informatique (qui ont aussi été historiquement parmi les premiers concernés par le développement de la discipline). Il était aisé de voir l'informatique comme un outil de calcul scientifique et de l'enseigner dans la continuité des outils mathématiques et des méthodes numériques pour les sciences physiques. On apprenait aux étudiants à programmer en réponse à des problèmes venant d'autres disciplines, sans grande attention aux nécessités internes à la discipline informatique.

Ce contexte a complètement changé. Avec sa généralisation à tous les domaines d'activité, l'informatique fait maintenant partie des compétences transversales de l'ingénieur, souvent préalables à des applications à d'autres sciences. Par conséquent, la situation de l'informatique dans les formations d'ingénieurs est d'une certaine façon devenue comparable à celle des mathématiques appliquées. Les champs d'application sont devenus tellement vastes qu'il n'est plus question de ne voir dans la discipline qu'un ensemble « d'outils » utilisés dans un certain contexte d'application stable et défini à l'avance. Chez les enseignants-chercheurs comme chez les industriels, se développent des plaidoyers pour une « culture informatique » de base que doit posséder tout ingénieur, plaidoyers que l'on retrouve dans les projets pédagogiques des écoles et dans les nouvelles recommandations de la CTI (CTI, 2006). Les

²⁵ Et probablement « implicitement réceptifs », ce qui rendrait délicate l'identification des représentations. Une évidence fonctionne souvent comme un point aveugle à l'insu du sujet chez qui elle fonctionne. Cela rend presque impossible l'entraide entre les étudiants des deux groupes dont il est question dans le texte. Nos propres expériences d'enseignement dans des matières scientifiques nous ont fait mesurer à quel point des étudiants ayant à travailler en équipes de 2, 3 ou 4 sur machines pour résoudre un problème scientifique ont du mal à collaborer. Les équipes se scindent très vite entre ceux qui prennent en charge la partie programmation et ceux qui s'occupent du reste de la séance, sans qu'une mise en commun ou une transmission des compétences des uns vers les autres à l'issue des séances semble réaliste. Par conséquent, ceux qui ne sont pas réticents à l'informatique renforcent très vite leurs compétences au point d'atteindre une grande facilité qui fait dire aux enseignants d'informatique que la nullité des autres étudiants est une conséquence de leur mauvaise foi et de leur manque de travail. Mauvaise foi ou obstacle épistémologique ?

enseignements d'informatique sont donc de plus en plus introduits dès les premières années, de moins en moins contextualisés par rapport aux applications, et de plus en plus donnés par des informaticiens spécialisés.

La différence avec les mathématiques est cependant notable au sens où les communautés d'informaticiens ne disposent pas encore de traditions pédagogiques pour expliciter quelles sont, en fonction des projets de formation des écoles, les « compétences communes » en question et à quels contenus de la discipline elles font référence. Il en résulte des difficultés en terme de légitimité de ces enseignements auprès des étudiants et des enseignants des autres disciplines scientifiques. On assiste sur le terrain pédagogique à un grand pragmatisme et à des tâtonnements de la part des enseignants d'informatique qui sont les signes des incertitudes épistémologiques pesant sur la discipline.

UN CONTEXTE QUI CONCERNE TOUTES LES SCIENCES

Il n'est pas anodin de nous souvenir que l'analyse de Lyotard sur la « condition post-moderne » est contemporaine des premiers développements de la micro-informatique et cite abondamment le « paradigme cybernétique ». Elle accorde une place importante à la formalisation et à l'automatisation du traitement de l'information, laissant sous-entendre que cette formalisation pourrait aller jusqu'à celui de la « connaissance », d'où l'idée « d'une connaissance sans sujet ». Les rapports avec le positivisme sont évidents, peut-être pas comme cause de la « post-modernité »²⁶ mais comme un moment essentiel de son développement²⁷.

Le fonctionnalisme de Turing est en effet à rapprocher de la biologisation générale de la dimension cognitive et culturelle de l'humanité sous-jacente aux formes successives du positivisme (Kolakowski, 1976). La culture et les savoirs résulteraient des processus d'évolution de la matière biologique et donneraient à l'espèce humaine des avantages en terme d'adaptation. On trouve cette inspiration dans la philosophie pragmatique (Kolakowski, 1976 ; Gauchotte, 1992), jusqu'à certaines représentations qui gouvernent implicitement le pilotage

²⁶ Lyotard voit la source de la délégitimation plutôt dans les systèmes philosophiques spéculatifs (voir Lyotard, 1979, pp. 64 et 65).

²⁷ Ce qu'on trouve exprimé par exemple dans des phrases du type (p. 20) « La question du savoir à l'âge de l'informatique est plus que jamais la question du gouvernement » qui tendent à confirmer rétrospectivement certaines anticipations d'Auguste Comte.

des activités de recherche scientifique : elles consistent, en l'absence d'un véritable « sujet » intégrant les connaissances et constituant leur finalité, à mettre en concurrence les équipes de recherche et à laisser la sélection opérer. D'où l'idée d'une complète continuité entre sélection naturelle, sélection culturelle et développement économique dans laquelle beaucoup de scientifiques semblent résignés à évoluer, notamment nous semble-t-il les informaticiens²⁸.

Plus qu'un exemple parmi d'autres, l'informatique semble donc être un cas englobant par rapport à toute la problématique de la « post-modernité » et de la fragmentation des savoirs scientifiques. Mais le développement puis l'autonomie prise par la discipline dans les formations d'ingénieurs illustrent bien « le big-bang » disciplinaire auquel ont à faire face les enseignements scientifiques dans les écoles d'ingénieurs.

Les disciplines scientifiques s'éclatent en d'innombrables sous-disciplines et problèmes de recherche, au point que le réalisme et l'unité épistémologique traditionnellement attachés aux sciences de la matière et du raisonnement se diluent dans des nouveaux paradigmes (Vergnioux, 2003, chap. 5) véhiculés par les « sciences de l'ingénieur » ou « les sciences de la complexité ». La disparition de la notion de sujet de la connaissance au profit de celle de sélection naturelle s'accompagne symétriquement de l'effacement de la notion d'objet au profit de celles de fonction et de processus. Les références à l'objectivité et à la rigueur de la construction faites pour emporter la décision de la raison théorique se trouvent en concurrence avec les références à l'efficacité et à l'adaptation aux situations faites pour emporter la décision de la raison pragmatique ou empirique. Des conflits de valeurs sont repérables chez beaucoup d'enseignants, mais davantage encore chez les étudiants qui passent brutalement des classes préparatoires faisant appel à la première raison, et prônant encore un attachement à la formation de l'esprit critique via des enseignements scientifiques fondamentaux²⁹, aux écoles

²⁸ Il suffit de noter par exemple certains termes utilisés pour décrire les stratégies de développement logiciel et l'histoire de l'informatique comme une complexification croissante. Un certain darwinisme latent est aussi présent dans la façon dont beaucoup de sociologues des sciences décrivent les communautés de recherche et les stratégies d'innovation (la « techno-science »).

²⁹ Il convient cependant de grandement relativiser cette auto-affirmation. On sait aussi le conformisme, voire l'irrationalisme (Jouary, 2002) et « l'addiction aux certitudes » (Favre, 1995 et 1997), que produisent les enseignements scientifiques, devenus en France une voie de sélection souvent au détriment de visées réellement éducatives. Mais reconnaissons que subsiste tout de même chez certains étudiants un authentique souci d'approfondir les notions, au point qu'il peut être inconfortable d'enseigner des sciences fondamentales en écoles d'ingénieurs car on est souvent pris entre la nécessité de survoler rapidement le programme et celle de répondre à des questions particulièrement embarrassantes de certains étudiants qui ne se satisfont pas des raccourcis.

d'ingénieurs où c'est la fonctionnalité des savoirs et des savoir-faire qui est mise en avant pour répondre à une injonction de professionnalisation traduite plus souvent par les enseignants scientifiques en terme de contenus et de techniques à faire apprendre sur un mode encyclopédique qu'en terme de dispositifs pédagogiques ou d'objectifs globaux visant une certaine unité de la formation.

Au-delà de l'informatique et comme le montre l'analyse à partir du positivisme, c'est donc l'épistémologie et l'histoire de beaucoup de disciplines qu'il faut réexaminer au cas par cas dans le paysage éclaté que montrent les sciences contemporaines (Bot, 2007b) et dans lequel les étudiants comme les enseignants ont du mal à s'orienter. Pour suppléer aux manquements éducatifs du positivisme, des appels se font pourtant pressants pour l'enseignement d'une démarche scientifique universelle ou d'ordre méthodologique qui parierait sur un improbable « transfert » (Rey, 1996, Bot, 2007a) d'une discipline à une autre ou des disciplines scientifiques vers les pratiques professionnelles. Il semblerait cependant plus réaliste de parier sur des épistémologies devenues régionales et sur une généralisation par les concepts propres à chaque discipline (Fabre, 2005, Bachelard, 1970, 2005), en partant du point de vue que c'est plutôt l'approfondissement théorique et la critique des concepts qui peuvent former l'esprit. Mais les contraintes d'acquisition de compétences opérationnelles orientent les enseignements vers des visions instrumentales qui ignorent la plupart du temps l'analyse des représentations épistémologiques véhiculées par les différentes disciplines et qui seraient pourtant la source de ces généralisations conceptuelles.

Les questions de la professionnalisation ne sont pas éloignées de cette problématique présentée ici comme épistémologique. Mais remarquons que ce sont toutes les sciences contemporaines qui sont impactées par ces évolutions, y compris les cursus universitaires qui pourraient encore se réclamer d'une identité strictement disciplinaire (s'ils en restent en sciences). L'éclatement « post-moderne » des savoirs scientifiques concerne la professionnalité globale du scientifique contemporain, y compris celle du chercheur académique, et par conséquent la question dépasse la seule professionnalisation des ingénieurs où les problématiques des formations professionnelles telles qu'elles sont souvent abordées en sciences de l'éducation.

Le regroupement des « sciences de l'ingénieur » comme département autonome du CNRS est un fait révélateur de cette évolution. Pour le CNRS, ces sciences ne renvoient pas

seulement à des problématiques de recherche appliquée et d'innovation industrielle, mais aussi à des problématiques théoriques (pensons à l'automatique) qui sont difficilement classables selon les schémas des frontières traditionnelles (disons celles de l'encyclopédie moderne) entre les disciplines scientifiques. Ces schémas correspondaient à des distinctions de nature ontologique portant sur les « objets » des disciplines, mais évoluent de plus en plus vers des distinctions de nature fonctionnelle portant sur les « systèmes » ou les « processus » étudiés par telle ou telle discipline.

CONCLUSION

Nous laissons à l'état d'hypothèse notre seconde thèse sur l'interprétation de la crise latente de légitimité que connaissent les sciences dans les formations d'ingénieurs, qui nous semble largement dissimulée derrière le fait que ces formations réussissent bien en terme de professionnalisation dans le paysage actuel de l'enseignement supérieur français. Le qualificatif de « post-moderne » que nous attribuons à cette « crise » ne veut rien dire d'autre que le fait qu'il s'agit d'une difficulté dans la légitimation des savoirs, difficulté que les acteurs tendent à résoudre par des sources de légitimation extrinsèques aux savoirs (comme la professionnalisation) et qui ne font souvent qu'augmenter l'éclatement des programmes de formation. Il suffit de comparer les contenus de savoirs scientifiques mis aux programmes des formations d'ingénieurs avec leurs pendants universitaires pour se rendre compte de cet éclatement, largement dû à l'objectif de pluridisciplinarité que poursuivent les écoles d'ingénieurs dans une vision encore très positiviste de la formation.

L'utilisation du terme « post-moderne » ne signifie donc pas ici l'annonce d'une rupture radicale. Si rupture radicale il y a, ce sera à la disparition des formations d'ingénieurs à la française ou à la perte de leur légitimité sociale qu'il faudra la mesurer. Or les écoles d'ingénieurs françaises restent à ce jour légitimes³⁰. Le terme signifie plutôt que nous serions arrivés au bout de l'impasse positiviste en terme de formation scientifique. Par conséquent, toute vision moderne de l'idée de formation n'est pas forcément à abandonner, bien au contraire. Mais elle doit probablement pour redevenir crédible revenir précisément à la modernité des lumières et rompre avec la méfiance du positivisme envers la philosophie, la culture intellectuelle gratuite et la personne vue comme finalité éducative. Certaines écoles

³⁰ Ce qui engendre d'ailleurs une difficulté pour les réformer.

d'ingénieurs l'ont sans doute compris et développent des enseignements de philosophie ou des offres de formation très diversifiées, de plus en plus accompagnées de dispositifs permettant une forte individualisation des parcours de formation en fonction des projets personnels de leurs étudiants. Voici donc des éléments d'une rupture très nette avec le positivisme³¹ (et non pas avec la modernité), mais face auxquels les communautés d'enseignants scientifiques se trouvent souvent désemparées. On peut aussi imaginer que des problématiques nouvelles (par exemple le développement durable ?) conduiront à une re-légitimation partielle des enseignements scientifiques, mais dans des approches faisant vraisemblablement appel aux motivations personnelles des étudiants et qui resteront critiques par rapport à toute tentative d'hégémonie de la rationalité scientifique dans la culture en général.

Le fait que les communautés scientifiques manquent de ressources collectives pour affronter la « désaffection des jeunes pour les cursus scientifiques » et la crise de légitimité des enseignements scientifiques dans les formations d'ingénieurs nous paraît massif. Alors que ces enseignants se professionnalisent de plus en plus comme chercheurs dans un paysage académique éclaté, et donc se spécialisent de plus en plus, on peut faire l'hypothèse qu'il leur manque justement cette culture moderne et critique qui permettrait de resituer les sciences contemporaines dans un contexte philosophique plus vaste et duquel pourrait ressortir un idéal éducatif collectivement crédible. Quoi qu'il en soit de ce débat sur l'actualité encore possible d'un idéal moderne ou de l'avènement d'une nouvelle ère, le terme « post-moderne » nous paraît utile pour souligner justement que nous peinons à qualifier notre époque. Ceci est d'ailleurs peut-être sa principale caractéristique, ce qui ne va pas sans conséquences sur le plan éducatif.

Enonçons pour conclure quelques pistes de recherche qui permettraient d'étayer nos hypothèses et de situer notre réflexion par rapport aux études plus classiquement faites sur les formations d'ingénieurs. Premièrement, même si le sujet n'a été ici qu'esquissé, soulignons l'importance d'études sur la formation scientifique des ingénieurs pour justement approfondir ou tester les réflexions sur la notion de « post-modernité ». Intimement liées à la notion de développement « socio-technique » depuis l'avènement de la modernité, les formations

³¹ Notamment, dès qu'on accepte l'individualisation des parcours, la progression universelle selon le positivisme allant des mathématiques à la sociologie et à la morale en passant par l'astronomie, la physique, la chimie et la biologie devient caduque. Il faut donc apprendre à enseigner sans référence à une progression unique et linéaire.

d'ingénieurs et les évolutions qu'elles ont connues sur de longues périodes sont en France de bons révélateurs de « l'esprit des temps » (Lemaître, 2003, Vérin, 1993). Pour ce faire, il nous semble que de telles études doivent investir la question des épistémologies propres aux sciences contemporaines et aux ruptures qu'elles ont connues au XX^{ème} siècle et connaissent encore, puisque justement une partie de « l'esprit des temps » actuels semble résider là.

Deuxièmement, une telle approche permettrait de compléter les études focalisées sur des dispositifs pédagogiques particuliers, souvent naturellement liés à des objectifs de professionnalisation et qui nous semblent globalement conduire à une sur-estimation de cette dimension au détriment de la question des savoirs académiques³². Il y a là nous semble-t-il un effet de loupe du chercheur en éducation ayant à constituer son objet, et qui n'a certes aucun intérêt à étudier des pédagogies traditionnelles dans lesquelles l'activité des étudiants est faible ou invisible. Pourtant, ces pédagogies représentent (encore) une partie importante des temps de formation des ingénieurs et se pose justement la question de leur légitimité. Ce sont donc plutôt les tensions entre savoirs académiques et objectifs de professionnalisation qu'il nous semble intéressant d'éclairer, entre autres pour vérifier notre hypothèse selon laquelle la dimension de la professionnalisation serait sur-estimée pour pallier à la crise de légitimité des enseignements scientifiques.

Une recherche axée sur les représentations épistémologiques des enseignants scientifiques permettrait de focaliser ainsi l'attention sur les questions des rapports aux savoirs scientifiques. Une telle perspective était la visée initiale de ce projet d'article, mais nos interviews ne permettent pas d'identifier clairement ce qui aurait pu être des « identités épistémologiques » suffisamment stables d'enseignants et il reste spéculatif d'attribuer des philosophies à des enseignants qui ne se réclament explicitement d'aucune inspiration philosophique autre qu'un pragmatisme justement assez a-philosophique³³.

³² Voir par exemple Fraysse, 1998 et Sonntag, 2007. Ces références montrent par ailleurs combien la notion de professionnalisation peut être complexe et non réductible à des dispositifs particuliers car impliquant également des « représentations ». L'action d'un professionnel ne renvoie pas qu'à la maîtrise de savoirs opérationnels, mais aussi à une dimension « communicationnelle » (Lang, 1999, Habermas, 1987).

³³ Rien à voir par exemple avec une référence conscientisée au pragmatisme de Dewey et à ses inspirations éducatives. Les ressemblances avec le pragmatisme dans certains discours d'enseignants interviewés s'arrêtent à une sorte de résignation face à un darwinisme latent dans la sélection des connaissances et des dispositifs pédagogiques (on fait « ce qui marche ») et à une méfiance envers la réflexion philosophique pour référencer un éventuel idéal de formation ou de connaissance scientifique dont les interviewés ne se réclament pas (« je ne lis pas », « je suis pragmatique »,...).

Le premier constat du côté des représentations des enseignants, et en attendant un travail de terrain plus assuré par rapport à ces questionnements théoriques, est donc une absence d'explicitation des philosophies qui sous-tendent leurs rapports aux sciences et à leurs façons d'envisager comme un ensemble la formation scientifique qu'il délivre. Semble primer une approche instrumentale des sciences et un grand pragmatisme face aux contraintes de l'exercice du métier dans un environnement donné³⁴. Il y a donc là de quoi étayer notre approche de la question par un certain « paradoxe positiviste » partant de l'hypothèse fondamentale que c'est le positivisme qui reste la matrice générale du développement des sciences et des références implicites des enseignants alors que cette référence semble plus difficile à assumer ou mène à une impasse sur le plan éducatif.

Un rapide regard sur la sociologie des laboratoires de recherche montre un nombre grandissant de chercheurs et de doctorants issus initialement de cursus d'ingénieurs, si bien que l'opposition entre des formations universitaires formant des scientifiques et des écoles d'ingénieurs formant des professionnels montre davantage un réflexe identitaire, reposant peut-être sur une base historique ou sur son idéalisation, qu'une réalité contemporaine et mesurable. C'est l'identité toute entière des sciences contemporaines, et donc aussi celle des formations universitaires, qui est reconfigurée par les évolutions rapidement analysées dans cet article. Au-delà de l'identité problématique des formations d'ingénieurs, ce renversement expliquerait également les réussites des écoles d'ingénieurs au détriment de l'université. Une étude focalisée sur les représentations enseignantes et attentive aux nécessités internes de leurs disciplines permettrait donc de ré-interroger également la distinction classique entre formations universitaires scientifiques et formations d'ingénieurs. Cette distinction semble de moins en moins pertinente face aux questions d'évolutions dans les rapports aux savoirs scientifiques et au double mouvement d'académisation et de professionnalisation de tout l'enseignement supérieur.

BIBLIOGRAPHIE

ARGON Pablo (1999), article *Machine de Turing* dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, pp. 604-606, sous la direction de LECOURT Dominique, Paris, PUF.

³⁴ Projet pédagogique de l'école dans laquelle on enseigne, réformes pédagogiques plus ou moins imprévisibles demandées par les directions, révoltent et demandes d'étudiants face à tel ou tel aspect de la formation dispensée,...

BACHELARD Gaston (1970), *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Vrin (1^{ère} édition en 1938).

BACHELARD Gaston (2005), *La philosophie du non*, Paris, Quadrige, PUF (1^{ère} édition en 1940).

BOKSENBAUM Claude et SALLANTIN Jean (1999), article *Informatique* dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, pp. 531-536, sous la direction de LECOURT Dominique, Paris, PUF.

BOT Ludovic (2005), *La « crise » de la dimension scientifique des formations d'ingénieurs : opportunité pour de « nouvelles » finalités de formation ?*, Actes du 3^{ème} colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur », pp. 350-356, Lille, Ecole Centrale de Lille, 1^{er}-3 juin 2005, France.

BOT Ludovic (2007a), *L'utilisation des pédagogies actives est-elle liée à la nature professionnalisante des formations d'ingénieurs ?*, Actes du 4^{ème} colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur », pp. 991-1004, Louvain-La-Neuve, Presses Universitaires de Louvain, 24-26 janvier 2007, Belgique.

BOT Ludovic (2007b), *Philosophie des sciences de la matière*, Paris, Acteurs de la science, L'Harmattan.

CEFI (Centre d'étude des formations d'ingénieurs) (2005), *Repenser les formations d'ingénieurs dans une logique de compétences, trouver sa voie entre savoirs et compétences*, journée d'étude du 7 juillet 2005, Paris.

CEFI (2006a), *Élaboration et utilisations de référentiels par et pour les formations d'ingénieurs ? Un oui à nuancer*, conclusions de la journée d'étude du 12 juillet 2006, Paris.

CEFI (2006b), *Tendances et synthèses, la lettre du CEFI*, Paris, novembre 2006.

CHARPAK Georges (sous la direction de) (1998), *Enfants, Chercheurs et Citoyens*, Paris, Odile Jacob.

CHARPAK Georges et OMNES Rolland (2004), *Soyez savants, devenez prophètes*, Paris, Odile Jacob.

CTI (commission des titres d'ingénieurs) (2006), *Références et orientations*, juin 2006, p. 11 et *Références et orientations, cahier complémentaire*, septembre 2006, annexe 11, p. 60 : *L'enseignement de l'informatique*. Ces documents sont consultables à partir de la page : http://www.cti-commission.fr/site_flash/fr/page_documents_CTI.htm (page visitée le 15 février 2007).

DELPEUCH Jean-Luc (2006), *Devenir ingénieur : la crise des vocations n'est pas inéluctable*, dossier *Ingénieurs à la française, économie mondialisée*, in *Réalités industrielles*, Paris, Annales des Mines, novembre 2006.

DURKHEIM Emile (1999), *L'évolution pédagogique en France*, Quadrige, Paris, PUF (1^{ère} édition en 1938).

FABRE Michel (1994), *Penser la formation*, L'éditeur, PUF.

FABRE Michel (2005), *Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard, Sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, Vol. 38, n°3, Caen, CERSE.

FAVRE Daniel (1995), *Conception de l'erreur et rupture épistémologique*, Revue française de pédagogie, n°111, pp. 85-94, avril-mai-juin 1995.

FAVRE Daniel (1997) *De la difficulté d'évoluer : cerveau et changement des représentations*, Revue de psychologie de la motivation, n°23, pp. 57-69, premier semestre 1997.

FRAYSSE Bernard (1998), *Pourquoi une représentation socioprofessionnelle ?*, L'année de la recherche en sciences de l'éducation, Paris, PUF.

GARCON Anne-Françoise (2004), *Entre l'état et l'usine, l'Ecole des Mines de Saint-Étienne au XIX^{ème} siècle*, Rennes, PUR.

GAUCHOTTE Pierre (1992), *Le pragmatisme*, Que sais-je ? Paris, PUF.

GHAFFARI Sarah (2002), *La construction sociale du marché du travail des ingénieurs diplômés : la formation comme dispositif de médiation marchande*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.

GIORDAN André (sous la coordination de) (1978) *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* L'éditeur, Paris, PUF.

GOULARD François (2007), *L'enseignement supérieur en France, Etat des lieux et propositions*, Rapport du Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

GRELON Alain (1986), *Les ingénieurs de la crise : titres et profession entre les deux guerres*, Paris, EHESS éditions.

GRELON Alain (1987), *La question des besoins en ingénieurs de l'économie française. Essai de repérage historique*, Paris, Technologies, Idéologies, Pratiques, VI/4, VII/1.

HABERMAS Jürgen (1987), *Théorie de l'agir communicationnel*, 2 tomes, Paris, Fayard.

HATCHUEL Armand (2006), *La naissance de l'ingénieur généraliste, l'exemple de l'Ecole des Mines de Paris*, dossier *Ingénieurs à la française, économie mondialisée*, in *Réalités Industrielles*, Paris, Annales des Mines, novembre 2006.

JOUARY Jean-Paul (2002), *Enseigner la vérité ? Essai sur les sciences et leurs représentations*, Paris, L'Harmattan.

KERLAN Alain (1998), *La science n'éduquera pas. Comte, Durkheim, le modèle introuvable*, Exploration, Paris, Peter Lang.

KERLAN Alain (1999), *Les sciences pourront-elles éduquer ? Le paradoxe positiviste*, Penser l'éducation, n°1, pp. 63-84, Rouen, CIVIIC.

KOLAKOWSKI Leszek (1976), *La philosophie positiviste. Science et Philosophie*, collection Médiations, Paris, Denoël/Gonthier (traduction française de l'édition polonaise de 1966).

LANG Vincent (1999), *La professionnalisation des enseignants*, Education et formation, Paris, PUF.

LEMAITRE Denis (2003), *La formation humaine des ingénieurs*, Education et formation, Paris, PUF.

LONGO Giuseppe (1999), article *Logique et informatique* dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, pp. 586-590, sous la direction de LECOURT Dominique, Paris, PUF.

LYOTARD Jean-François (1979), *La condition post-moderne, rapport sur le savoir*, collection « critique », Paris, Les Editions de Minuit.

NAGEL Ernest, NEWMANN James R., GÖDEL Kurt et GIRARD Jean-Yves (1989), *Le théorème de Gödel*, Paris, Points Sciences, Seuil.

OURISSON Guy (2002), *Désaffection des étudiants pour les études scientifiques*, rapport au ministre de l'éducation nationale, gouvernement français, Paris, mars 2002.

POSTIAUX Nadine, BOUILLARD Philippe et ROMAINVILLE Marc (2007), *Un référentiel de compétences en formation d'ingénieurs dans un contexte universitaire*, Actes du 4^{ème} colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur », pp. 983-990, Louvain-La-Neuve, Presses Universitaires de Louvain, 24-26 janvier 2007.

REY Bernard (1996), *Les compétences transversales en question*, Paris, Pédagogies, ESF éditeur.

SIRI Françoise (1999), article *Turing* dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, p. 963, sous la direction de LECOURT Dominique, Paris, PUF.

SONNTAG Michel et MOHIB Najoua (2007), *Préparer les étudiants à une profession évolutive*, Actes du 4^{ème} colloque « Question de pédagogie dans l'enseignement supérieur », pp. 687-703, Louvain-La-Neuve, Presses Universitaires de Louvain, 24-26 janvier 2007, Belgique.

VERGNIOUX Alain (2003), *L'explication dans les sciences*, Bruxelles, Le Point Philosophique, De Boeck.

VERIN Hélène (1993), *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, L'évolution de l'humanité, Paris, Albin Michel.