

Formation des ingénieurs : une comparaison entre

LUIS MAURICIO RESENDE [1]

L'histoire de la formation des ingénieurs est profondément liée à l'histoire du développement de la technologie. L'auteur nous conte l'évolution adaptative de la formation des ingénieurs en France, en faisant le parallèle avec le Brésil.

Pour comprendre la naissance du métier d'ingénieur, il faut, dans un premier temps, comprendre le développement du concept de technologie.

L'expression grecque *technè* était utilisée pour indiquer chaque action humaine qui nécessitait une connaissance particulière. Jusqu'au IV^e siècle, l'expression *techno-logos* était utilisée péjorativement comme quelque chose d'excessif, de facultatif ou, en référence aux mots utilisés pour tromper quelqu'un, comme un sophisme (« technologue » était utilisé comme synonyme de manipulateur, d'une personne dont les mots sont trompeurs).

Le terme *technè* va disparaître au Moyen-Âge, pour réapparaître à la Renaissance. De nombreux changements – comme la création de la presse, la possibilité d'y insérer des tableaux et des cadres, la notion et la division du travail appliquées différemment de la forme artisanale – entraîne, à cette époque, un besoin urgent de formaliser des savoirs. Du système artisanal au système d'utilisation (de mise en pratique) de la science existe une étape dite « de réduction des arts ». « Réduire l'art » renvoie au fait de le rendre accessible, c'est-à-dire de générer une méthode pour le rendre compréhensible. Ainsi, à la Renaissance, le mot d'ordre est la « méthode », puisque c'est la transmission de ces savoirs qui est en jeu.

C'est au XVIII^e siècle que Johann Beckmann (1739-1811) sépare la technique et la technologie des autres arts, donnant ainsi naissance au concept moderne de technologie, qui désigne une science chargée de transmettre le savoir de la technique.

mots-clés
enseignement supérieur, sciences de l'ingénieur

Pour mieux comprendre l'évolution de la technique, Bertrand Gilles proposait la notion de « systèmes techniques » pour caractériser les différentes époques de la technologie. Pour lui, un système technique correspond à l'ensemble des cohérences qui se tissent, à une époque donnée, entre les différentes technologies. Ainsi, les systèmes classiques reposaient sur l'eau et sur le bois, qui était le principal matériau de construction et de combustion. Gilles décrit la première révolution industrielle comme le passage des systèmes classiques à un nouveau système fondé sur la triade fer-charbon-vapeur. Quant à la seconde révolution industrielle, elle apparaît à la fin du XIX^e siècle, notamment avec l'électricité qui bouleverse à nouveau toutes les données (Picon, 1994) [2].

Un système technique s'accompagne toujours d'un ensemble de savoirs, de savoir-faire, de représentations, que l'on pourrait regrouper sous le terme de « pensée technique » au sens large (Picon, 1994).

Ainsi, au cours de l'Histoire, on voit se transformer la figure de l'ingénieur et le profil des écoles en fonction de cette évolution des techniques.

La construction du métier d'ingénieur en France

Historiquement, les artisans étaient chargés à la fois de la planification et de la construction des fortifications, mais, au milieu du XVI^e siècle, un groupe de « non-artisans spécialistes » s'est mis à utiliser la géométrie et les mathématiques pour concevoir les fortifications, et cela de manière plus rationnelle que les artisans. Ces architectes, militaires spécialisés de formation, ont été les premiers vrais ingénieurs au sens moderne du terme (Katehi *et al.*, 2009). À cette époque, ils étaient classés selon leur activité, dans trois domaines d'État : Génie militaire, Ponts et chaussées, et Constructeurs de vaisseaux (Schin, 1978).

La naissance de l'ingénieur français moderne coïncide avec la création de l'État français. Au début, les ingénieurs étaient formés en tant que bâtisseurs, sur

[1] Professeur à l'université fédérale de technologie du Paraná, Département d'ingénierie industrielle, Campus Ponta Grossa, Brésil, lmresende@utfpr.edu.br

L'auteur tient à remercier la fondation Araucaria (Brésil) pour le soutien financier à cette recherche et le professeur André Grelon (EHESS) pour son soutien.

[2] Retrouvez la bibliographie complète sur http://eduscol.education.fr/sti/ressources_techniques/revue-technologie-ndeg203-sommaire

la France et le Brésil

une base de transmission de maître à apprenti. Mais, peu à peu, un système de formation plus institutionnel a remplacé l'ancien. Ainsi, en 1716, une première école est créée à Paris, pour développer et gérer le réseau de transports du royaume. L'École des Ponts et Chaussées était née ; elle est devenue, peu à peu, une école d'ingénieurs, en proposant un modèle de transition au métier de bâtisseur (Grelon, 2006). Ponts et Chaussées a été la première école instituée (1747), suivie de l'École du Génie (1748). Puis, pour les besoins de l'État, l'École de la Marine (1765) et l'École royale des Mines (1783) ont également été fondées sous les auspices du règne (Grelon, 1998).

La France puis l'Allemagne font partie des premiers pays d'Europe continentale à avoir organisé un système structuré de formations d'ingénieurs. En France, l'École des Ponts et Chaussées, du Génie, de Mézières et, plus tard, Polytechnique ¹, ont apporté une contribution majeure à la « culture d'école » des ingénieurs, alors qu'en Angleterre la « culture d'atelier » continuait de prévaloir (Gouzévitch *et al.*, 2004).

En France, la Révolution a toutefois entraîné une transformation de cet ensemble. En 1794, la Convention crée une école unique pour les fonctionnaires civils et les officiers d'État, une école de formations technique et scientifique, nommée l'École centrale des travaux publics, qui remplace et englobe plusieurs écoles d'ingénieurs existantes, en gardant certains de leurs enseignants. Un an plus tard, l'Institution réoriente sa stratégie et devient l'École polytechnique, à laquelle se sont rapidement associées d'autres écoles, qui sont devenues ses écoles d'application (Grelon, 1998, 2006). On peut finalement se demander si le conflit entre une vision scientifique de la formation et une vision plus technique n'a pas caractérisé le contexte de création de l'École polytechnique pendant la Révolution française (Lemaître, 2009). On ne sort pas ingénieur de Polytechnique, mais seulement « ancien élève » (Grelon, 2006).

En 1794, la Convention a aussi fondé le Conservatoire des arts et métiers, destiné à l'instruction des populations industrielles qui se spécialisaient depuis longtemps dans des activités aux formations continues. Ses élèves étaient connus comme les « gadzarts » (contraction de « gars des arts ») (Unesco, 1983).



1 « Pour la patrie les sciences et la gloire », sur le fronton du pavillon Joffe des bâtiments historique de l'École polytechnique à Paris (5^e arrt.)

Les formations d'ingénieur au Brésil sur le modèle de Polytechnique

À cette époque, le Brésil est une exception en Amérique latine : alors que l'Espagne a propagé des universités dans ses colonies (27 au moment de l'indépendance), le Portugal a limité ses universités au territoire métropolitain : Coimbra et Evora (Teixeira, 1976). Ainsi, l'éducation supérieure au Brésil trouve sa genèse dans les cours de philosophie, de sciences et de théologie des collèges de la Compagnie de Jésus (Cunha, 1989). Jusqu'à l'expulsion des jésuites, en 1759, les expériences d'enseignements supérieurs au Brésil sont liées à l'action des jésuites portugais, dont les études humanistes visaient à préparer et constituer une élite lettrée aux fonctions bureaucratiques du Brésil. Ainsi, à la fin de ces enseignements, il y avait deux possibilités : aller à l'université de Coimbra, pour se consacrer à l'étude du droit, ou à Montpellier, pour des études de médecine (Fávero, 2000).

C'est en 1792 que débute la formation des ingénieurs au Brésil, avec la création de l'Académie royale des fortifications d'artillerie et de dessin, sur le modèle portugais de l'académie créée deux ans auparavant, toutes deux avec un règlement complètement inspiré du modèle de Polytechnique. En 1874, un décret royal transforme l'Académie royale en École polytechnique, en lui retirant son caractère militaire et en la dissociant du ministère de la Guerre. Ainsi, la première école d'ingénieurs non militaire est instituée. Elle deviendra plus tard l'École polytechnique de l'université fédérale de Rio de Janeiro.

Nouvelles étapes en France et au Brésil

En France, un groupe de savants associés à un investisseur privé, Alphonse Lavallée, crée, en 1829, l'École centrale des Arts et Manufactures, destinée à fournir au pays les ingénieurs civils dont il manque **2**.



2 Carte élève de Boris Vian à l'École centrale des arts et manufactures, 1942-1943

Pour la première fois, l'intention est de former à grande échelle des ingénieurs industriels (Gouzevitch *et al.*, 2004), par un cursus de 3 ans, ce qui a rapidement inspiré la création de nombreuses écoles d'ingénieurs en France (École centrale de Lyon, Institut impérial de Lille), en Europe (École des Arts et Manufactures de Liège, École d'ingénieurs de Lausanne, École d'ingénieurs de Barcelone), aux États-Unis (Rensselaer Institute) et en Égypte (École de polytechnique). Cette école, privée lors de sa création, va devenir une école d'État en 1862 (Grelon, 1998 ; Etner, 1985).

Deux grandes filières peuvent être identifiées comme des références pour la formation des ingénieurs en France. La première se situe dans les écoles de formation des corps techniques d'État, au XVIII^e siècle : elle se poursuit avec l'organisation de l'ensemble « École polytechnique-écoles d'application » (1794-1795) et avec l'École centrale des Arts et Manufactures (1829). La seconde filière est liée au développement des écoles d'arts et métiers, écoles qui sont à la base de l'enseignement technique moyen. Cette seconde filière fonde sa légitimité, dès l'origine, sur l'enseignement des techniques et des opérations concrètes. À partir du milieu du XIX^e siècle, les nouveaux établissements se réfèrent

explicitement à l'une ou à l'autre filière. À la fin du XIX^e siècle, un troisième cas apparaît. Il s'agit d'établissements qui prennent en compte un nouveau type de demandes industrielles, celles d'ingénieurs et de cadres technico-scientifiques spécialisés dans des secteurs qui émergent et se développent lors de la seconde industrialisation. L'École de physique et de chimie industrielles de Paris (1882) en constitue le prototype (Grelon, 1998).

Au Brésil, c'est seulement en 1876 qu'une deuxième école d'ingénieurs est créée : l'École des Mines de Ouro Preto, à l'initiative de l'empereur D. Pedro II. D'après Auguste Daubrée, polytechnicien, l'ingénieur Claude Henri Gorceix a été chargé d'organiser la formation en géologie et minéralogie au Brésil. La structure de l'École des Mines était semblable à la française, jusqu'à son calendrier scolaire, de septembre à juin. Ce calendrier a été maintenu jusqu'à 1943. Au début, la formation était de 2 ans. En 1882, elle a été étendue à 3 ans, avec la formation en construction de ponts, chemins et canaux. En 1885, elle a encore été transformée en une formation généraliste sur 3 ans, à laquelle s'ajoutait une formation de trois autres années, en génie des mines. En 1931, l'école a perdu son autonomie en se rattachant à l'université fédérale de Rio de Janeiro. En 1957, elle a repris un statut d'école indépendante, pour se rattacher de nouveau, en 1969, à l'université fédérale de Ouro Preto.

L'expansion

En France, la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e sont marqués par un grand nombre de créations d'établissements de formation, dont le but est de répondre aux demandes des entreprises. Dans le dernier tiers du XIX^e siècle, la question de la formation des ingénieurs devient un enjeu national. Ainsi, une grande réorganisation des structures universitaires aboutit en 1896 à la création de seize universités, réparties dans différentes régions. On constate qu'au sein des facultés de sciences s'ouvrent de nombreuses écoles d'ingénieurs (Grelon, 1998).

Malgré la réforme universitaire, les écoles d'ingénieurs se multiplient hors de l'université, chacune dans un domaine très spécialisé jusqu'en 1914 : leur nombre passe de six en 1880 à 69 en 1914 (Lamard et Lequin, 2005).

Néanmoins et paradoxalement, les universités commencent à développer des enseignements technoscientifiques pour répondre à des demandes précises de responsables économiques locaux. Ainsi, à partir de 1880, les instituts annexes des facultés de sciences donnent naissance à un système d'enseignements techniques supérieurs. Celui-ci est fortement critiqué par l'académisme universitaire, qui lui reproche une approche utilitaire au détriment d'une théorisation jugée, intellectuellement, plus stimulante (Lamard et Lequin, 2005).

En parallèle, au Brésil, c'est après la proclamation de la République, en 1889, qu'on s'est rendu compte de la nécessité de former plus d'ingénieurs. Cinq écoles d'ingénieurs ont donc été créées avant la fin du XIX^e siècle, rejoignant les deux premières. Au XX^e siècle, de nouvelles écoles ont été inaugurées, mais seulement à partir de 1910. Ainsi, en 1914, on pouvait compter 12 écoles d'ingénieurs au Brésil, un chiffre très faible comparé aux 69 écoles présentes en France à la même époque.

La crise des années 1930 conduit certains ingénieurs au chômage, si bien que les écoles diminuent l'effectif de leurs promotions de manière drastique. Pour la première fois de leur histoire, les ingénieurs français se trouvent confrontés, en tant que groupe, à de sérieux problèmes d'embauche (Grelon, 1998).

Après la Seconde Guerre mondiale, en France, on s'est de nouveau rendu compte de la nécessité de former des ingénieurs. Pour répondre à cette demande, le Gouvernement a créé plusieurs écoles dans le pays, à partir de 1950. À cette époque, les ingénieurs sont des professionnels fondamentalement liés à la production, aux travaux novateurs et à l'entretien. L'activité de recherche n'est pas représentative du milieu et les activités technico-commerciales restent minoritaires (Grelon, 2006).

En 1957, à Lyon, un nouveau type d'écoles d'ingénieurs, à statut public, est créé, inspiré de l'EPF de Zürich. Ces écoles sont rattachées à la Direction de l'enseignement supérieur, sans être intégrées à l'université : l'Insa, Institut national de sciences appliquées, est la première école de ce nouveau genre, chargée de former des ingénieurs et des techniciens (Lamard et Lequin, 2005).

Au Brésil, on constate une évolution plus lente. En 1930, on ne dénombre pas plus de 13 écoles d'ingénieurs, offrant 30 filières possibles aux étudiants et, en 1950, on en compte 16, avec 70 filières. La plupart des écoles sont situées dans les capitales d'États (seulement trois à la campagne). Il faut attendre les années 1950 pour qu'une nouvelle impulsion de création se produise. En effet, 12 nouvelles écoles de formation d'ingénieurs sont créées dans cette période. On peut aussi noter la création de l'Institut technologique d'aéronautique (ITA), en 1950, attaché au ministère de l'Aéronautique, qui va donner, plus tard, les bases de l'industrie aéronautique brésilienne (Embraer).

Jusqu'à-là, toutes les écoles brésiliennes étaient très proches du modèle français des Grandes Écoles, aux niveaux de l'indépendance des écoles et de la formation dédiée aux ingénieurs (bien que le modèle de formation préparatoire à l'entrée des écoles n'ait jamais existé).

En 1965, des instituts universitaires de technologie (IUT) sont créés pour former des techniciens en France. En 1969, on compte 39 IUT (Lamard et Lequin, 2006). La grande originalité de cette filière consiste

à créer, à la lisière de l'université, un enseignement supérieur technique professionnalisant, sans lien avec la recherche (Lamard et Lequin, 2006).

Dès 1969, un groupe de travail est chargé de concevoir une université de sciences et techniques au nord de Paris. En 1972, à Compiègne, est créée la première université française de technologie, interdisciplinaire, apte à délivrer des diplômes d'ingénieurs. En France, l'expansion de cette troisième voie de l'enseignement supérieur, consacrée à la technologie, tarde à être mise en place. La principale raison réside dans la résistance que lui opposent les universités et les écoles d'ingénieurs « classiques » (Lamard et Lequin, 2006).

En 1970, le Gouvernement favorise le regroupement d'écoles d'ingénieurs sous un statut universitaire, en créant les trois INP (instituts nationaux polytechniques) de Grenoble, de Lorraine et de Toulouse.

Aussi, au début de cette décennie, les écoles d'ingénieurs, en s'affiliant aux universités pour mettre au point des programmes de doctorat, ont fait de la recherche et du développement des moteurs de la croissance économique (Grelon, 2006).

À la rentrée 2012, il existait en France 205 écoles ou formations (nommées parfois institut ou centre) habilitées à délivrer un diplôme d'ingénieur par la Commission des titres d'ingénieur (CTI). Parmi cet ensemble, 155 faisaient partie de la Conférence des Grandes Écoles (109 avaient un statut public) et 11 étaient des universités (universités de technologie incluses).

Au Brésil, à partir des années 1960, avec la multiplication des universités, les écoles de formation d'ingénieurs sont incorporées aux universités et de nouveaux cours y sont créés. Rares sont les écoles qui demeurent isolées.

À partir des années 1960, avec une forte industrialisation du pays, de nouvelles écoles d'ingénieurs sont construites. Si, à la fin des années 1950, il n'y avait que 28 écoles, 36 autres ont été ouvertes dans les années 1960, pour arriver, au début des années 1970, à 117 écoles de formation d'ingénieurs. Dans les années 1980, avec la stagnation économique du pays, la croissance du nombre de cours a ralenti et, au début des années 1990, on dénombrait 130 écoles d'ingénieurs. Dans la deuxième moitié des années 1990, on a assisté à une augmentation significative du nombre d'écoles, en particulier dans les années 2000. La moyenne annuelle de création de nouveaux cours (qui était d'environ 12 de 1989 à 1996) a changé et est passée à 80 nouveaux cours par an, de 1997 à 2005. À partir de 2005, cette moyenne a atteint plus de 100 nouveaux cours par an. À cette même date, l'université technologique fédérale de Paraná est créée à partir d'une institution de formation technique (proche du modèle des IUT) et est devenue, au cours des dernières années, l'une des plus grandes écoles de formation d'ingénieurs.

Au début de 2008, il y avait 450 écoles de formation d'ingénieurs au Brésil, avec près de 1 400 cours. On est passé de 88 titres différents de formation en 1998 à 153 dénominations en 2008.

Jusqu'à la fin des années 1990, la moitié des cours étaient dispensés dans des écoles publiques. Ces quinze dernières années, la croissance des écoles dans le système public était de 80 %, tandis que celle des écoles privées était de 240 %. Par cette évolution, à la fin des années 2010 le nombre d'écoles privées était beaucoup plus grand que celui des écoles publiques **3**.

Tandis que la formation de l'ingénieur en France est plus diversifiée (Grands Écoles, Insa, universités de technologie, etc.), le système de formation des ingénieurs au Brésil est beaucoup plus homogène. L'admission est faite sur concours après le bac, avec une formation, en majorité, sur 5 ans. Le modèle des classes préparatoires n'existe pas et toute la formation se déroule au sein de l'école de formation. Les universités publiques sont les plus prestigieuses, avec très souvent des centres de recherche rattachés à l'enseignement. Elles sont les plus recherchées par les étudiants, soit pour leur qualité, soit pour leur caractère gratuit. La formation en 5 ans ne varie pas. En règle générale, les deux premières années sont dédiées aux sciences dites dures.

Défis pour la formation d'ingénieur

La définition d'ingénieur professionnel est donnée en 1953 à la Conférence des sociétés d'ingénieurs de l'Europe occidentale et des États-Unis : par son éducation de base et sa formation, un ingénieur professionnel, était-il indiqué, est qualifié pour appliquer une conception et une méthode scientifiques à l'analyse et à la solution de problèmes techniques. Il est capable d'exercer une responsabilité personnelle dans le développement et l'application des sciences de l'ingénierie, notamment en matière de recherche, de conception, de construction, de fabrication, de supervision et de gestion, ainsi que pour la formation d'autres ingénieurs. Son travail est essentiellement intellectuel ; il n'a jamais le caractère d'une routine – que ce soit du point de vue physique ou mental – et il réclame l'exercice d'une pensée originale, d'un jugement pénétrant et d'une aptitude à diriger les travaux techniques et administratifs d'autres collaborateurs de l'entreprise (Bogomolov, 1974). Ainsi, l'ingénieur est tributaire d'une formation mixte, souvent plus scientifique que technique (Beaune, 1985). Quelques spécialistes définissent même l'ingénierie comme l'application des mathématiques et de la science au service de l'humanité et comme un pont reliant les sciences dures aux sciences humaines (Grasso *et al.*, 2004).

La création de l'ingénieur professionnel est faite pour répondre aux besoins de la révolution industrielle et des particularités des demandes de l'industrialisa-

tion. La structure de formation des ingénieurs repose donc sur deux points : la connaissance des lois de la nature (la science) et l'application de ces lois, en vue de répondre aux besoins de l'industrie.

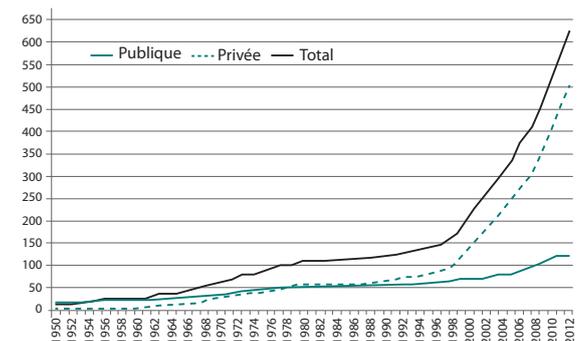
Un processus continu d'augmentation de la teneur scientifique et d'approfondissement des connaissances, dans la formation des ingénieurs, s'est produit pendant les années où les connaissances scientifiques avançaient en symbiose avec les réalisations techniques (Magee, 2004 ; Katehi *et al.*, 2009).

Aujourd'hui, la structure de formation des ingénieurs semble présenter la nécessité d'être repensée. La fonction d'ingénieur est passée d'« homme de la machine » à « homme du processus », pour finir « homme de la gestion » (Moutet, 1985). Elle s'est trouvée progressivement déplacée et son action s'est transférée d'un monde qu'il s'agissait de transformer à un monde qu'il faut désormais organiser et régenter (Beaune, 1985).

À l'ère de « l'incertitude et de la complexité », la formation n'est plus adaptée. Elle est trop exclusivement centrée sur « les modes de pensée rationnelle » des formations scientifiques. La séparation de la philosophie et des technologies « empêche de comprendre leur développement, les conditions de leur application et leurs limites » ; de plus, la méconnaissance, par les élèves, de « la réalité humaine et sociale des métiers qui seront un jour les leurs » ne leur permet pas de prendre la mesure de leurs responsabilités futures (Chaix, 1998). L'ouverture à des savoirs nouveaux ne se ferait plus sur le mode encyclopédique (« des têtes bien pleines »), mais sur celui de « la complétude », c'est-à-dire des « têtes bien faites » (Sauvage *et al.*, 1996).

Le contenu des cours d'ingénierie a changé à certains égards et les élèves utilisent des ordinateurs plutôt que des règles à calcul. Mais, les cours d'ingénierie, nombreux en 1999, ont été enseignés exactement de la même manière que les cours d'ingénierie de 1959, sans incorporer d'autres compétences, pédagogies ou innovations didactiques (Felder *et al.*, 2000).

Plusieurs travaux (Wulf, 1998 ; Kalonji, 2005 ; Felder *et al.*, 2000 ; Davidson, 2009) proposent des changements dans la formation des ingénieurs, avec une attention explicite pour la recherche en éducation,



3 Croissance du nombre d'écoles d'ingénieurs au Brésil (Oliveira, 2013)

l'innovation pédagogique et l'enseignement scientifique. En d'autres termes, une réforme de la formation des ingénieurs doit se concentrer sur le curriculum, la pédagogie et la diversité.

Il semble donc que les nouvelles compétences pour les ingénieurs du *xxi*^e siècle soient la communication, les capacités d'identification et de résolution de problèmes, le leadership, l'intelligence émotionnelle, l'éthique sociale, ainsi que la capacité de travailler avec des personnes d'horizons différents (Katehi *et al.*, 2009 ; Bordogna, 1998 ; Brummett, 1985).

On peut diviser les compétences essentielles d'un ingénieur en trois groupes de compétences (Patil et Codner, 2007) : les compétences dures (des savoir-faire traditionnels de l'ingénierie comme la capacité mathématique, la compétence en résolution de problèmes, en recherche et développement), les compétences non techniques (communication, gestion, éthique, leadership) et les compétences globales (questions transversales, multiculturelles, internationales, sur le travail, le marché mondial, etc.). On voit que le premier groupe est bien présent dans les formations, mais que le développement des compétences non techniques et générales est faible pour former efficacement les ingénieurs.

Pour répondre à ce besoin, il semble que les écoles cherchent quatre voies majeures en commun :

1. Internationalisation
2. Approche des entreprises
3. Humanisation des programmes
4. Innovation pédagogique.

Ces quatre voies sont donc les ouvertures définies pour améliorer la construction des compétences non techniques et générales.

L'internationalisation, soit avec une insertion des étudiants à l'étranger, soit en accueillant des étudiants étrangers, permet de développer un regard plus globalisé de la société et du marché du travail, des compétences comme la multiculturalité, l'ouverture au marché mondial, l'éthique ou la compréhension de différentes valeurs culturelles.

L'approche des entreprises est effectuée par l'insertion des étudiants sous forme de stage, mais aussi, quelquefois, par des partenariats pour résoudre des problèmes réels, typiquement industriels, ou pour développer ensemble des projets de recherche. Cette approche permet de développer, chez les étudiants, des compétences comme l'identification et la résolution de problèmes, la gestion de projets, le leadership, etc.

L'humanisation des programmes, c'est-à-dire l'insertion dans la formation des ingénieurs de disciplines de sciences humaines comme la philosophie, la sociologie, la psychologie, l'histoire, permet aux étudiants de développer des compétences comme la créativité, la communication, le sens des relations interpersonnelles, l'éthique, etc.

La quatrième voie, l'innovation pédagogique, donne lieu à des initiatives ponctuelles, réalisées dans le

contexte de chaque discipline. Il s'agit d'innovations dans les pratiques d'enseignement comme l'utilisation méthodologique d'apprentissages inductifs, réflexifs, coopératifs, actifs, d'apprentissages par problèmes ou encore par schématisations conceptuelles. Il existe aussi des initiatives comme l'utilisation de logiciels, de laboratoires à distance ou virtuels, d'outils internet comme les blogs, wikis, e-learning, technologies mobiles, entre autres. Ces possibilités permettent aux étudiants de développer leurs capacités de travail en groupe, d'initiative, de résolution de problèmes réels, d'innovation, etc. Il semble que ce soit la voie la plus étudiée par les chercheurs pour améliorer la formation des ingénieurs. Par exemple, de 2003 à 2012, 27 % des articles (346 parmi un total de 1173) publiés dans l'*International Journal of Engineering Education* traitent de ces questions. Par contre, dans cette même revue, plus rares sont les articles qui analysent les programmes par une approche plus globale (7 %) ou qui font un panorama des pratiques novatrices (5 %).

Conclusions

La formation des ingénieurs a évolué depuis le *xviii*^e siècle en parallèle et au côté du développement technologique. Si la construction du métier d'ingénieur s'est bien produite à partir de la révolution industrielle, et sa maturation, pendant le *xx*^e siècle, en passant au début du siècle par la structuration de la formation, dans les années 1950, par sa scientification, puis, à partir des années 1970, par l'ajout des connaissances en gestion, ce sont les valeurs et les défis propres aux dernières décades qui semblent révéler et formuler les grands défis d'aujourd'hui.

La créativité, l'innovation, la flexibilité, le travail collaboratif et la responsabilité sociale des entreprises sont les évolutions significatives des compétences des ingénieurs. Que ce soit le système français – plus diversifié et ancien – ou le système brésilien – plus homogène et récent –, ils sont confrontés au même enjeu : les écoles cherchent des solutions pour s'actualiser et construire ces nouvelles compétences.

Les formations les plus anciennes, comme les françaises, évoluent assez facilement pour intégrer ces nouveaux besoins. C'est certainement une des raisons pour lesquelles l'ingénieur « à la française » est apprécié dans le monde entier.

Par contre, des systèmes de formation plus jeunes, comme le système brésilien, peuvent trouver beaucoup plus de difficultés à s'insérer dans ce nouveau contexte et à construire leur propre parcours. Ainsi, à cause d'une vraie difficulté à innover, ces écoles risquent de se ressembler de plus en plus, ce qui s'avère indésirable pour le système de formation. ■