

Nouvelles transformations de la formation des ingénieurs induites par les TIC

Jean Michel

La formation des ingénieurs a profondément changé depuis le début des années 1970, tant dans ses contenus que dans son organisation ou ses pédagogies. Au cours des trente dernières années, tous les établissements formant des ingénieurs (écoles d'ingénieurs, universités scientifiques et techniques ou instituts polytechniques) ont cherché à adapter les formations aux besoins d'une société en constante mutation tenant compte de nouvelles contraintes. Les pédagogies de projet, les démarches de résolution de problèmes, les échanges internationaux (européens notamment) ont été intensifiés et la coopération avec le monde de l'entreprise (les stages de longue durée par exemple) a été renforcée. La formation par la recherche et la formation continue sont devenues des axes majeurs de développement des écoles d'ingénieurs.

Aujourd'hui, on assiste au plan international à une remise en cause assez profonde des processus traditionnels de formation et à un renouvellement des schémas pédagogiques fondamentaux, sous la double pression des technologies de l'information et de la communication, de l'internationalisation des activités humaines et industrielles et de la globalisation des économies.

Les TIC obligent à raisonner en termes de compétition ouverte sur un marché planétaire de la formation, de la connaissance et des compétences. Les établissements sont poussés aujourd'hui à développer l'accès

LCN, volume 1, n° 2-2000, pages 67 à 86

électronique à leurs cours, pour satisfaire la demande légitime de leurs propres étudiants, pour attirer de nouveaux « clients » et conquérir de nouveaux marchés (formation à distance, formation tout au long de la vie), ou simplement pour continuer à exister en tant qu'instruments de production et de diffusion du savoir (indispensable visibilité sur l'internet). D'importantes plates-formes de diffusion d'information et de connaissances, de nouvelles universités virtuelles apparaissent et se multiplient, qui délivrent des cours à distance, de façon très personnalisée, avec comme objectif de toucher d'importants bassins de clientèle. Dans le même temps, les TIC pénètrent les formations les plus traditionnelles et donnent lieu à prolifération d'expériences pédagogiques les plus variées. Un aspect intéressant de cette révolution réside enfin dans le bousculement des barrières qui existent encore entre formation initiale et formation continue : nous nous intéressons désormais à la formation tout au long de la vie et à la mise à jour permanente des connaissances, des qualifications et des compétences, la carrière ne pouvant plus se fonder sur la base de la seule obtention d'un diplôme à l'âge de 20 ou 25 ans, même acquis dans les plus prestigieuses institutions.

Les formations d'ingénieurs en mouvement vers les TIC

La grande majorité des établissements d'enseignement supérieur français ou étrangers et notamment les formations d'ingénieurs ont recours aux technologies de l'information et de la communication pour leurs diverses activités d'enseignement, de recherche, de communication ou de diffusion de connaissances.

Au cours des cinq dernières années, nombre d'écoles d'ingénieurs et d'universités scientifiques et techniques ont mis l'accent sur le développement intensif et collectif des usages de l'internet, des technologies numériques en réseau et des fonctionnalités associées. Ainsi, la généralisation rapide et volontariste des TIC s'est traduite par le recours systématique à la messagerie électronique et aux forums d'échange et de discussion (les étudiants se montrent souvent plus déterminés en la matière que leurs enseignants). Toutes les formations d'ingénieurs ont développé leurs sites web, de plus en plus riches en ressources informationnelles ou pédagogiques. Les expériences de recours aux TIC dans la formation des ingénieurs, selon des principes ou des schémas les plus variés, se sont multipliées avec un succès mitigé d'abord, plus assuré désormais, même s'il est encore difficile de tirer un bilan sérieux de toutes ces réalisations ou expérimentations. Il est aujourd'hui envisagé de généraliser ces pratiques et

surtout de positionner les établissements de façon nouvelle par rapport à ce que permettent les TIC en matière de conquête de nouveaux marchés de formation (de l'enseignement à distance sur certains créneaux spécifiques à la diffusion de l'infoconnaissance *via* les vecteurs électroniques nouveaux ou encore à la participation des écoles d'ingénieurs aux plates-formes éducatives nationales ou internationales en émergence).

On peut évoquer ici l'exemple de la Confédération helvétique qui a décidé récemment de créer un Campus virtuel suisse visant à stimuler la production et la diffusion *via* l'internet de modules d'enseignement (dans tous les secteurs de l'enseignement supérieur), respectant en outre les nouvelles exigences de compatibilité européenne (système ECTS notamment). Les formations d'ingénieurs de Lausanne, de Zurich et d'autres villes apparaissent la plupart du temps à l'avant-garde du mouvement, l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne ayant en outre investi depuis plusieurs années dans la création d'un dispositif original (ARIADNE) reconnu aujourd'hui comme une norme internationale de fait et visant la création d'un vivier universel de connaissances.

Les écoles d'ingénieurs intervenant dans les domaines de l'informatique et de l'électronique sont naturellement les plus portées à recourir aux TIC pour repenser leurs dispositifs de formation ; pour autant, les réalisations concernées ne sont pas toujours les plus intéressantes du point de vue pédagogique (le jeu avec l'outil et les simulations numériques prenant souvent le pas sur la réflexion relative au sens et aux modalités de la formation). Pour les autres établissements dont la culture de base n'est pas *a priori* celle des TIC (génie civil, génie chimique, environnement par exemple), les technologies ne peuvent pas être considérées comme une fin en soi ; les expériences amènent alors à se recentrer sur l'essentiel de la formation, c'est-à-dire sur la démarche d'apprentissage des individus et des groupes. Dans les deux cas toutefois, l'émergence des TIC dans le quotidien des institutions formant des ingénieurs donne une excellente occasion de s'interroger à la fois sur les missions, les services et le fonctionnement des établissements et sur la position de ceux-ci dans le concert des grands réseaux nationaux ou internationaux qui développeront et diffuseront l'information spécialisée et la connaissance dans le cadre d'une société de l'intelligence moderne, ouverte et mondiale.

Il convient toutefois d'indiquer dès à présent que le chemin à parcourir pour atteindre le niveau d'excellence et de compétitivité auquel sont parvenues, sur ce terrain, certaines grandes universités européennes, américaines ou australiennes (ou des consortiums d'établissements) sera long et vraisemblablement sinueux. Les démarches butent sur de réelles

difficultés qui, pour l'essentiel, ne sont pas réellement d'ordre technologique (encore qu'elles existent et qu'ils ne faut pas les minimiser) mais plus de nature culturelle : les mentalités ne sont pas toujours prêtes à évoluer, les formateurs traditionnels manquent cruellement de compétences en matière de maîtrise des TIC, il y a des difficultés pour définir et mettre en œuvre de réelles stratégies d'évolution/rupture par rapport aux modèles traditionnels de formation. Enfin, la question des investissements économiques à consentir est posée, ainsi que celle de la définition d'un nouveau modèle économique d'organisation de la formation.

Les concepts et mots-clés : les TIC dans et pour la formation

L'usage des technologies de l'information dans la formation des ingénieurs n'est pas nouveau. Nous pourrions mentionner d'étonnantes expériences pédagogiques réalisées à l'Ecole des Ponts et Chaussées dans les années 1820 à 1830 avec un recours innovant à la lithographie et plus tard dans les années 1850-1870 avec l'utilisation de la photographie pour la formation des ingénieurs. Depuis une bonne vingtaine d'années, nombreux ont été les spécialistes de l'éducation qui se sont penchés sur l'apport de certaines technologies d'information et de communication (de l'audiovisuel éducatif à l'enseignement assisté par ordinateur) et le milieu des formations d'ingénieurs a largement pris part à cette réflexion collective. Aujourd'hui, le développement rapide et intensif des usages d'internet, du multimédia et d'autres outils de groupware vient renouveler cette réflexion et cette action d'innovation pédagogique.

Les conférences internationales consacrées aux nouvelles approches de la formation des ingénieurs *via* les TIC se sont multipliées au cours des dix dernières années : CAEE (*Computer Aided Engineering Education*), CALISCE (*Computer Aided Learning in Science and Engineering*), RUFIS (*Role of Universities in the Future Information Society*), NTICF (Nouvelles technologies d'information et de communication pour la formation), etc. Ces diverses conférences, comme aussi les multiples rapports produits sur le sujet, montrent que les expériences ou réalisations se développent dans différents champs ou domaines, à partir desquels se dégagent un ensemble de concepts et de mots-clés intéressants :

– l'enseignement et l'apprentissage assistés par ordinateur (*computer aided teaching, learning or education*) sont très développés dans le domaine des outils de modélisation et de la simulation ; depuis le milieu des années 1980, cette thématique revient constamment dans les formations d'ingénieurs (prédisposées à recourir aux modèles mathématiques et informatiques) et les

conférences internationales mentionnées précédemment se concentrent d'abord sur elle dans la dernière décennie ;

– les cours électroniques et les didacticiels (*courserwares*) se multiplient de façon quasiment sauvage aujourd'hui sur le web mais existent aussi sous forme de cédéroms commercialisés ou librement diffusés ;

– l'autoformation et l'auto-apprentissage (*self-education, self-learning*) redeviennent subitement d'actualité du fait de la grande souplesse offerte par les TIC et par un recentrage sur la démarche d'apprentissage autonome, personnalisée (par opposition à des approches traditionnelles exclusivement axées sur l'acte d'enseignement) ;

– la formation ou de l'enseignement à distance (*distance education*), avec la mise en place de structures lourdes (CNED, *Open Universities*, etc.), dont le marché ne cesse de croître aujourd'hui ;

– la formation (ou l'apprentissage) ouverte et flexible (*open and flexible learning*) met l'accent sur la diversité des « routes d'accès » à la connaissance et à la compétence, tant au niveau des individus qu'à celui des groupes ou communautés apprenantes ;

– la formation assistée par le multimédia (*mediated education*) est une forme plus avancée de la formation assistée par l'ordinateur ;

– la formation et/ou l'apprentissage asynchrone (*asynchronous learning*) considère une nouvelle façon d'envisager le temps de la formation (pour l'individu comme pour le groupe), en jouant sur des nouvelles structurations temporelles des modalités de formation ou d'apprentissage ;

– la formation interactive (*interactive learning*) met l'accent sur les processus collectifs d'apprentissage et de formation ;

– la formation coopérative (*cooperative learning, education*) est basée sur les interactions entre différents groupes de personnes, apprenants, enseignants, tuteurs, etc ; les outils de groupware, l'intranet et les forums électroniques conduisent à mettre en place de nouvelles communautés apprenantes, à géométries variables (collecticiels d'apprentissage) ;

– les viviers de connaissances ou bases de données éducatives (*knowledge pools*) sont conçus comme des instruments de capitalisation, de mise en commun et d'accès ouvert à de multiples ressources éducatives produites par des centaines de producteurs institutionnels acceptant de respecter certains standards communs de définition des « briques » pédagogiques ; l'action internationale développée autour du projet ARIADNE par exemple reflète bien aujourd'hui l'importance de ce courant qui privilégie la réutilisation maximale des ressources éducatives dans un contexte de partenariat large ;

– les plates-formes d'enseignement ou éducatives (*educational platforms*) et systèmes de diffusion (*distributed learning environments*) rendent possible la diffusion large et mondiale d'informations et de connaissances (pour les sciences de l'ingénieur, le dispositif européen *Europace* comme également le projet *Facile* peuvent être cités comme des modèles de développement de telles plates-formes pour les formations initiales ou continues des ingénieurs) ;

– et, finalement, les universités virtuelles (*virtual universities*) peuvent être de différents types et pour différents objectifs et segments de marché (université virtuelle francophone de l'Aupelf, université virtuelle africaine soutenue par l'Unesco et la Banque mondiale, Western Governors University aux Etats-Unis fédérant les forces de différentes universités traditionnelles, etc.). Dans un contexte également mondial, la FMOI (Fédération mondiale des organisations d'ingénieurs) travaille à un projet soutenu par l'Unesco, l'Unep et la Banque mondiale, visant à créer une Bibliothèque virtuelle pour la formation des ingénieurs au développement durable.

Les différents niveaux d'implication des établissements

Si l'on cherche à cerner le degré d'implication des établissements dans l'appropriation dynamique et collective des TIC, il est possible d'identifier une typologie grossière des développements actuels en matière de cours électroniques et d'universités virtuelles, pour le domaine des formations d'ingénieurs.

Type de structure	Stratégie TIC	Réponses
Etablissement traditionnel	Pas de stratégie	Initiatives individuelles, cours en ligne, etc.
Etablissement traditionnel	Expérimentation collective	Soutien institutionnel aux projets individuels
Etablissement traditionnel et structure <i>ad hoc</i>	Innovation institutionnelle, nouvelles formations	Plates-formes de diffusion, viviers de connaissances
Nouvelle organisation	Conquête du marché de l'infoconnaissance	Universités virtuelles

Tableau 1. Une typologie des développements institutionnels face aux TIC

Des écoles d'ingénieurs ou universités traditionnelles n'ont pas de stratégie spécifique en matière de TIC ; des initiatives individuelles, qui consistent en la production par quelques professeurs de cours électroniques, pures transpositions TIC des cours « papier », émergent ici ou là.

Des établissements explorent et expérimentent de nouvelles voies et proposent un cadre de référence et un soutien institutionnel à des initiatives individuelles, avec financement éventuel.

Des institutions nettement plus innovantes s'impliquent fortement dans le développement de l'usage des TIC et poussent à la création de plateformes d'apprentissage et de viviers de connaissances ; elles créent aussi des structures *ad hoc* pour repenser la « production de la formation » et son économie.

Enfin, de nouvelles structures sont créées *ex nihilo*, consortiums de partenaires, véritables universités virtuelles, sans murs et même sans professeurs permanents, et où l'emploi des TIC devient un enjeu stratégique de conquête de marché.

On peut encore considérer que les développements observés des usages des TIC dans les formations d'ingénieurs correspondent *grosso modo* à quatre grandes composantes fonctionnelles de la démarche globale des établissements concernés :

- la structuration des contenus de formation (composante conceptuelle et éditoriale pourrait-on dire) : développement des cours électroniques, redéfinition, redécoupage et restructuration des matières enseignées, « briques » élémentaires des viviers d'infoconnaissance, etc. ;
- la stimulation des interactions entre les personnes, étudiants, enseignants, tuteurs, etc. (composante de communication et interactivité pédagogiques) : tutorat électronique, communautés apprenantes, collecticiels d'apprentissage, forums, etc. ;
- l'innovation structurelle et institutionnelle : mise en place de partenariats, réseaux ou consortia autour des TIC, création de pools, viviers coopératifs, création également de structures nouvelles spécialisées (ateliers multimédia, pools de compétences, etc.) ;
- l'approche stratégique et managériale visant à se positionner sur de nouveaux segments de marché, avec des projets globaux autour de la création et du développement de nouveaux environnements d'apprentissage et de formation, en se situant d'emblée au niveau mondial.

Type de structure	Réponses
Structurer les contenus de formation	Cours électroniques en ligne, briques d'infoconnaissance
Dynamiser les interactions entre personnes	Tutorat électronique, forums, collecticiels d'apprentissage
Favoriser l'innovation structurelle et institutionnelle	Viviers de connaissances, pools de compétences
Se positionner sur les nouveaux marchés de formation	Projets stratégiques, nouveaux environnements de formation

Tableau 2. Quatre approches fonctionnelles du développement de l'usage des TIC

Les composantes de la virtualisation

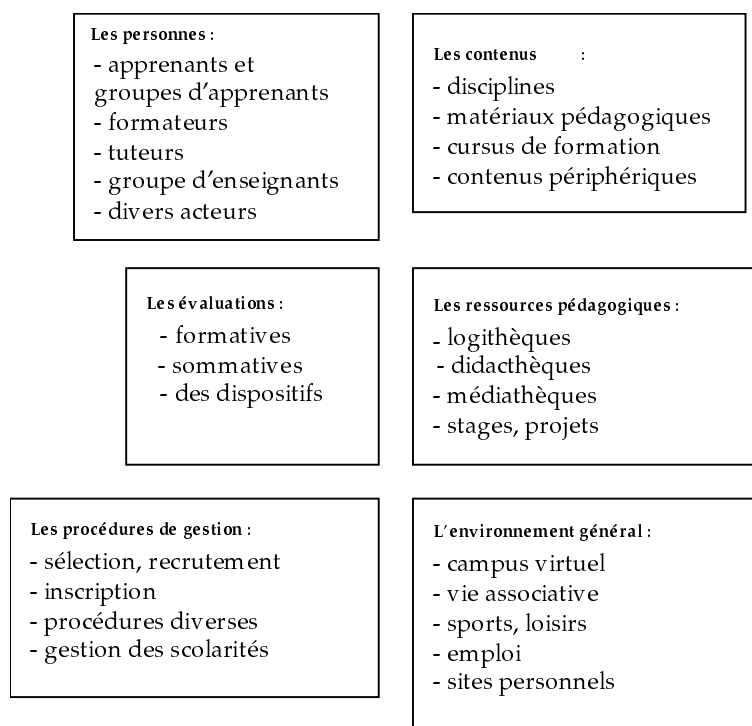


Tableau 3. Les divers objets ou champs de virtualisation

Quand nous parlons d'université virtuelle ou de TIC en formation, nous sommes vite amenés à examiner plusieurs composantes ou « objets » du « système formation » pouvant être « virtualisés », c'est-à-dire pouvant être concernés par le recours aux TIC.

Les personnes elles-mêmes

Il convient de ne pas perdre de vue que la formation consiste d'abord et avant tout en la construction individuelle et collective d'une connaissance et en l'acquisition progressive d'une compétence ; elle ne peut pas être pensée en dehors de la réalité de l'échange entre êtres et groupes humains. Dans ce contexte, les TIC vont concerner au premier chef :

- les apprenants individuels, qui peuvent accéder à distance à des ressources virtuelles (en plus ou à la place de la présence physique en salles de classe), qui peuvent aussi être « inscrits » réguliers, temporaires ou exceptionnels (cas par cas, produit par produit) ;
- différents groupes d'apprenants selon des géométries variables : groupes thématiques, groupes de projets, groupes fermés (équipes permanentes) ou ouverts (forums d'élaboration) ;
- les formateurs, notamment les enseignants ou fournisseurs de ressources : il peut s'agir d'enseignants exerçant déjà dans l'établissement ou de nouvelles personnes ressources, non nécessairement et formellement inscrites comme enseignants ;
- différents groupes de personnes ressources, différentes équipes pédagogiques virtuelles ;
- des tuteurs, parrains virtuels et autres contributeurs pour le suivi des stages, de projets, d'activités spécifiques ;
- des groupes ou communautés mixtes (apprenants, enseignants, tuteurs, etc.), permanents ou temporaires, ouverts ou fermés, constitués autour de projets spécifiques.

Les contenus, matières, disciplines ou objets d'étude

C'est en général ce qui vient immédiatement à l'esprit quand on évoque les TIC en formation :

- éléments didactiques, enseignements disciplinaires traditionnels, virtualisés à différents niveaux : leçons élémentaires, modules de x heures, blocs d'enseignement, etc. ;
- matériaux pédagogiques : études de cas, bibliographies d'appui, textes de référence, exercices, projets dont tout ou partie peut être virtualisé ;

- cursus de formation (« curriculum ») et cheminements pédagogiques pour l'attribution des diplômes ou qualifications : cursus flexibles ou non, cheminements individualisés ou non ;
- contenus périphériques et autres sujets ou matières non nécessairement enseignés sur place mais disponibles en virtuel et vivement recommandés.

Les procédures d'évaluation

Il n'y a pas de formation sans évaluation. Les TIC peuvent modifier substantiellement la façon dont on procède en la matière :

- évaluations formatives qui permettent de s'assurer de la qualité des progressions d'apprentissage et aident les apprenants dans leurs parcours pédagogiques : exercices, tests et questionnaires virtuels et/ou à distance ;
- évaluations sommatives qui permettent de sanctionner les acquis d'un parcours : examens virtuels, tests en ligne ;
- évaluations des enseignements et de la formation dispensés : évaluation en ligne par les étudiants, groupes ou forums d'évaluation.

Les ressources d'appui logistique et pédagogique

La formation, c'est aussi tout un environnement d'appui, constituant ce qui a été appelé dans les formations d'ingénieurs depuis trente ans une des bases essentielles d'une véritable macropédagogie :

- ressources informatiques et bureautiques : logiciels, programmes,
- didacthèques (collections de *coursewares*), cours électroniques,
- documentations et bibliothèques virtuelles,
- logistiques d'accompagnement des stages et des projets.

Les procédures de gestion liées à la formation

Une autre composante intéressante à considérer sous l'angle des TIC est tout ce qui relève des phases amont et aval de la formation et représentant pourtant un business considérable :

- procédures de sélection des futurs inscrits : tests, portfolios, etc.,
- modalités d'inscriptions proprement dites,
- gestion des frais d'inscription et des autorisations d'accès aux ressources,
- suivi des évaluations, gestion des notes.

L'environnement général

Il serait anormal de ne pas évoquer encore tout ce qui relève de l'environnement dans lequel les formations sont dispensées et qui bénéficie aujourd'hui d'un soutien intéressant par le biais des TIC :

- campus virtuels, ensemble de ressources les plus variées mises à disposition ;
- information sur les commodités diverses, sur les règlements, les dispositions pratiques : transports, logement, bourses, restaurants ;
- loisirs, vie associative, vie des clubs ;
- sites web personnels des étudiants, démarches favorisant la recherche d'emploi ;
- sites personnels des enseignants, des chercheurs, etc.

Les conséquences ou implications pédagogiques des TIC

En premier lieu, les TIC rendent possible l'accès décentralisé à de multiples bassins d'informations et de connaissances comme aussi à des moyens éducatifs répartis. Désormais, la formation doit tenir compte de tout un système d'accès à diverses ressources éducatives, s'appuyant sur un environnement d'aide à la formation, plus complexe, plus ouvert, plus dispersé (*distributed learning environment*). L'étudiant ou apprenant peut être amené à consulter aisément des ressources internes (produites au sein de l'établissement), mais aussi et surtout externes, en nombre et volume très largement supérieurs à ce qu'il peut recevoir de sa propre institution. Les formations d'ingénieurs n'échappent pas à cette règle d'autant plus que des contraintes économiques de plus en plus fortes peuvent conduire à s'interroger sur le bien-fondé du développement local de modules d'enseignement qui peuvent être d'ores et déjà disponibles sur la toile (les plates-formes Ariadne, Europace et la Bibliothèque pédagogique virtuelle de la FMOI visent cet objectif de la mutualisation des ressources).

Notons à cet égard le fait que les TIC ouvrent l'accès à des ressources au niveau planétaire et contribuent à instaurer une autre vision du monde. Elles aident l'étudiant, l'apprenant, à se situer dans un monde plus ouvert, plus divers, avec des composantes de variété culturelle et linguistique importantes, voire même indispensables (formation ou apprentissage sans frontière). Elles obligent à se poser la question de la citoyenneté dans la société de l'information et de la connaissance, à s'interroger sur des aspects d'éthique liée au développement de celle-ci. Pour les futurs ingénieurs, cette perspective est fondamentale.

Les TIC conduisent à raisonner en termes de délocalisation et de décentralisation de la formation. Le télétravail et la téléformation deviennent chaque jour davantage des réalités. Faut-il encore construire des écoles et d'immenses campus pour dispenser la formation aux étudiants ? Est-il

encore nécessaire de rassembler systématiquement les apprenants en un lieu donné pour leur dispenser un certain nombre d'enseignements ? En fait, le besoin de rassembler physiquement les apprenants existe toujours, mais il convient d'en redéfinir les raisons ou la nécessité fonctionnelle. Pour les formations d'ingénieurs qui ont fortement développé la pédagogie de l'alternance (stages et projets de terrain) et promu les séjours à l'étranger, la possibilité offerte par les TIC de maintenir un lien actif à distance avec les divers groupes d'étudiants et d'assurer ainsi un tutorat électronique éclaté et à géométries variables est aujourd'hui en passe de devenir un atout essentiel et un véritable levier à la « déscolarisation » des dispositifs de transfert de connaissances.

C'est aussi une autre perspective en matière de gestion du temps de la formation. Grâce aux TIC il devient possible de choisir plus souplesment les temps et les rythmes de l'apprentissage comme aussi ceux de la communication pédagogique (interpersonnelle aussi bien que collective). Cela permet de mieux s'adapter aux différents styles cognitifs d'apprentissage (plus lents, plus rapides, etc.). Cela permet aussi d'imaginer des modalités plus flexibles de formation à temps partiel, comme également pour la formation continue, des modalités plus judicieuses d'alternance entre périodes de travail et de formation. Cette dimension commence à jouer pleinement avec la mise à disposition des étudiants ingénieurs de sites web et de forums dédiés à des modules d'enseignement donnés pour lesquels le déroulement, plus souple dans le temps, des actions et des réactions des uns et des autres conduit à de nouveaux schémas pédagogiques intéressants.

L'apport des TIC est aussi sensible à la manière d'envisager les apprentissages individuels et collectifs de façon plus innovante et flexible. Elles permettent de satisfaire des besoins d'autoformation et de mieux prendre en compte les parcours individuels (formation individualisée), et, dans le même temps, de tenir compte d'exigences de consolidation collective des apprentissages individuels, en jouant du reste sur des apports spécifiques de groupes ou communautés à géométrie variable.

De nouvelles formes de tutorat voient aussi le jour grâce aux nouvelles technologies. Nous pouvons parler d'un véritable tutorat électronique qui a l'avantage de personnaliser le suivi des étudiants dans leur progression vers le savoir et surtout qui permet de s'affranchir des contraintes spatiales et temporelles. Ce tutorat électronique, cette nouvelle forme de guide et d'accompagnement s'avèrent plus flexibles que les traditionnelles formes de présence des enseignants aux étudiants. Nous pouvons imaginer une certaine diversification des modalités de ce tutorat en faisant par exemple intervenir d'autres étudiants dans la fourniture de conseils ou

d'observations à leurs collègues, alors que l'enseignant peut assurer, en final, une autre forme de consolidation de la connaissance à partir des échanges entre étudiants. Ce tutorat électronique permet aussi d'associer plus aisément des ingénieurs ou professionnels en exercice dans l'encadrement ou l'accompagnement de groupes d'étudiants, ce qui ne peut que contribuer à repousser très loin les frontières du territoire éducatif, à désenclaver les dispositifs de formation et à lutter contre certains corporatismes académiques stérilisants.

Les TIC rendent possibles de nouvelles interactions entre différents individus et groupes de personnes. Les collecticiels d'apprentissage, les forums électroniques, la messagerie, le tutorat électronique, les universités virtuelles sont l'occasion de penser la formation comme une construction permanente de savoirs personnels ou collectifs, à travers le jeu de différentes interactions entre des groupes de personnes : des apprenants (étudiants) échangent entre eux ou avec des groupes de personnes ressources (enseignants, tuteurs), etc. Ces expériences ont l'avantage de ne pas mobiliser de lourdes ressources techniques ou d'engager d'importants investissements en conception de programmes éducatifs. Dans une formation française d'ingénieurs en agronomie, l'objectif assigné aux groupes d'étudiants consiste à leur faire réaliser un site web relatif au cours dispensé, ce site constituant une sorte de journal d'apprentissage progressif et collectif avec interactions multiples entre groupes d'étudiants, enseignants et experts extérieurs à l'institution.

Ce dernier exemple démontre encore que les TIC ne sont pas unidirectionnelles et qu'elles conduisent à remettre en cause le traditionnel schéma de communication pédagogique maître → élève. L'individu (ou le groupe) redevient lui-même producteur d'informations et de connaissances et peut échanger et valider ses propres productions avec d'autres personnes ou groupes. Cette implication des apprenants dans la production et l'échange de ressources joue sérieusement sur la motivation des individus.

Par ailleurs, les TIC permettent d'assurer la capitalisation des connaissances et des acquis. Nous pouvons aider les étudiants (et les groupes d'étudiants) à constituer, à structurer et à développer leurs propres bases de données et de connaissances et cela de façon progressive. Les travaux faits une année par les étudiants peuvent être aisément conservés, capitalisés et poursuivis, enrichis les années suivantes. C'est ainsi que dans une université italienne se constitue et se développe, au fil des années, un véritable cours électronique collectif, dans le domaine de la mécanique, alimenté en permanence par les apports des étudiants en interaction avec les enseignants.

Enfin, nous pouvons mentionner le fait que les nouvelles technologies de l'information permettent d'envisager une véritable continuité dans les processus d'apprentissage et de formation. Les étudiants peuvent en permanence enrichir leurs bases de données et de connaissance personnelles et cela même après la sortie de l'université. Ainsi peut-on plus facilement imaginer une articulation judicieuse entre formation initiale et formation continuée tout au long de la vie, à travers une certaine unicité de gestion des supports d'informations et de connaissances disponibles.

Les TIC et la dimension humaine de la formation

Il est souvent fait allusion au risque, notamment de déshumanisation, que présente l'introduction des TIC dans la formation des ingénieurs. Les TIC vont modifier les rapports entre enseignants et enseignés, entre formateurs et apprenants, mais pas nécessairement dans le sens d'une perte d'humanité dans l'acte de transfert de savoir et de savoir-faire.

Ce qui apparaît clairement un peu partout où se développent les usages intensifs des TIC, c'est que l'approche traditionnelle fortement centrée sur l'enseignement (*teaching*) s'estompe au profit de démarches plus nettement orientées sur l'apprenant et sa liberté d'apprentissage (*learning*). Cela conduit à parler de formation personnalisée, de formation ouverte, adaptée et flexible.

Dans ce contexte, l'étudiant-apprenant accède par lui-même à des sources ou ressources qui lui sont recommandées ou qu'il trouve par lui-même (comme quand il fréquente une bibliothèque). Il construit ses propres progressions en connaissance et qualification (on parle aujourd'hui de pédagogies constructivistes). Le rôle du formateur devient essentiel, non pas dans la fourniture d'informations et de briques de savoir (l'enseignement traditionnel en salle de cours) mais plutôt dans l'accompagnement de l'apprenant dans ses progressions et ses consolidations ou structurations de connaissances.

Dans ce contexte, tous les experts reconnaissent unanimement la profonde mutation du rôle de l'enseignant et l'indispensable contribution du formateur-tuteur devenue nécessaire par un apport évident de l'usage des TIC.

Aussi, les TIC changent profondément les rapports au sein des groupes d'étudiants ou communautés d'apprenants. En effet, les « collecticiels d'apprentissage » mis en place avec succès par l'université du Québec témoignent d'approches nouvelles de coformation. De même, les

expériences originales en formation continue développées en Suède ou en Finlande sur la base de « groupes virtuels d'apprentissage » méritent réflexion. Le tutorat électronique, l'usage intensif du courrier et des forums électroniques en formation, les communautés apprenantes virtuelles à géométries variables deviennent des réalités quotidiennes dans de nombreux lieux de formation, réalités pour lesquelles on dispose aujourd'hui d'évaluations très intéressantes. La dimension humaine du processus d'apprentissage en sort renforcée sans pour autant supprimer tout dispositif pédagogique recourant au « présentiel ».

Les obstacles et les difficultés rencontrés

Les expériences et réalisations faites dans les diverses écoles d'ingénieurs montrent bien que si l'on progresse en général assez vite vers un usage plus systématique des TIC dans la formation, de nombreux et sérieux obstacles subsistent. Ainsi relève-t-on généralement un manque d'information et de connaissance sur les expériences ou réalisations existantes et un niveau de transfert et de diffusion des acquis relativement faible ; les approches collectives qui permettraient de progresser plus vite et plus efficacement restent encore assez rares.

D'autre part, on observe un réel scepticisme du monde enseignant quant aux bénéfices que peuvent procurer les TIC et une carence sérieuse dans la sensibilisation et la formation des enseignants traditionnels en ce qui concerne l'usage des TIC couplée avec des effets de disparité dans la maîtrise des outils informatiques selon les générations et les cultures.

Il y a un manque d'équipements appropriés, en ce qui concerne tant les moyens collectifs (serveurs, réseaux, etc.) que les postes individuels de travail ou consultation ou encore les produits logiciels utiles.

Le problème est plus grave encore en ce qui concerne la maintenance de ces moyens nouveaux, très exigeants, consommateurs de compétences techniques avancées ; certains parlent aujourd'hui de « crise des logistiques » pour l'enseignement supérieur face à l'explosion des développements des usages des TIC.

Les responsables des établissements de formation ont une faible vision stratégique vis-à-vis du développement de l'usage des TIC ; ils semblent avoir du mal à impulser les réformes nécessaires et surtout à raisonner en termes de nouveaux marchés à conquérir ; en France, dans de nombreux cas, on en reste à une relative bienveillance qui facilite les expériences individuelles ; nous sommes rarement en présence de managers stratégiques

qui comprennent les véritables enjeux du recours aux TIC pour la formation des ingénieurs.

Il y a des problèmes économiques et financiers ; il convient de penser autrement l'économie de la formation avec, notamment, une part plus importante des moyens à affecter d'une part aux investissements initiaux (équipements, productions des cours électroniques, etc.), et, d'autre part, à la maintenance des systèmes mis en place ; il faut pouvoir rémunérer, pour cette activité nouvelle de nature pédagogique, des compétences qui interviennent à un moment ou à un autre dans le processus de production des cours électroniques, indépendamment du fait qu'ils seront ensuite en présence ou non d'étudiants (rémunération des prestations assurées en « présentiel »).

Il y a des problèmes quant à la propriété intellectuelle des nouveaux supports et cours : comment faire reconnaître et respecter le droit moral des concepteurs ? Comment rétribuer justement les créateurs de ces supports (droit patrimonial) et cela sans gérer les disponibilités des établissements, en amenant ceux-ci à payer des sommes excessives (monopoles de fait, etc.) ?

Il y a également des difficultés pour coopérer sur ce terrain à des niveaux nationaux ou internationaux, à établir des consortiums pour la production et la diffusion de modules d'enseignement en ligne, à rassembler des équipes de compétences multidisciplinaires.

Enfin, des règles du jeu sont en usage pour tout ce qui a trait aux recrutements et aux démarches de sélection (avec ou non *numerus clausus*) et aux dispositifs d'accréditation et de certification des programmes de formation ; ces règles du jeu reflètent bien souvent des conceptions antérieures à l'ère de la société de l'information qui exige plus d'ouverture, de modularité et de flexibilité ainsi qu'un élargissement du cadre de réflexion et d'action au niveau international, européen ou mondial.

Les nouvelles frontières de l'enseigner et de l'apprendre

De façon schématique et volontairement provocante, nous pourrions affirmer qu'il n'est plus aujourd'hui nécessaire de s'appuyer sur des écoles ou des universités pour former des ingénieurs. C'est-à-dire qu'il n'est plus nécessaire de concentrer géographiquement des étudiants en un lieu donné, pour suivre des enseignements et accéder à des connaissances aisément transférables. Nous pouvons même nous demander si cela a encore un sens de limiter ce transfert formel de connaissances à un moment donné de la vie des individus, alors qu'en permanence il faudra actualiser ses connaissances

et que les technologies de l'information permettent de s'affranchir des cadres géographiques et temporels.

Si l'école d'ingénieurs que nous connaissons a encore un sens ou un futur, pour quelle fonction et pour quel service l'a-t-elle ? S'agit-il pour elle de se contenter de dispenser en local ce qui est aisément accessible à partir de n'importe quel point de la planète ? Ne vaut-il pas mieux aujourd'hui qu'elle se recentre sur quelques missions fondamentales et qu'elle trouve des réponses à quelques questions-clés ? Comment aider les individus et les groupes à établir des liaisons entre des informations et connaissances éparpillées et parfois contradictoires ? Comment créer une animation culturelle et un accompagnement d'apprentissage spécifiques permettant l'intégration des informations et connaissances dans l'action professionnelle ? Comment contribuer à la stimulation de la production et du transfert des savoirs ? Quel est donc, aujourd'hui, le rôle réellement indispensable d'une école d'ingénieurs ou, pour parler avec le langage du temps, quel est son domaine de subsidiarité ? Au fond, n'est-il pas temps de mieux distinguer ce qui relève de la transmission des données ou informations constitutives des savoirs, de ce qui a trait à la consolidation des connaissances et à la préparation des futurs ingénieurs à la maîtrise des méthodologies de l'action efficace, à travers la mobilisation de l'information utile ?

Les écoles d'ingénieurs situées dans une même région ou celles qui fonctionnent en réseau (la tendance au regroupement et au partenariat est patente depuis quelques années) sont ou seront amenées à investir dans des équipements éducatifs lourds, véritables machines à dispenser de l'information structurante, pouvant être consultés par des étudiants de diverses origines, sur place ou à distance. Elles devront faire ces investissements en ingénierie éducative comme elles ont été conduites à renforcer leurs équipements pour la recherche. De véritables campus virtuels sont en train de naître qui donnent naissance à une nouvelle économie de la formation, de l'information et de la connaissance.

Au niveau des étudiants, des efforts sont faits pour faciliter l'accès à l'information et à la connaissance, à leur traitement, à leur capitalisation et à leur diffusion. Au cours de leur formation et après l'obtention du diplôme, les étudiants pourront conserver l'essentiel du patrimoine des ressources et de connaissances accumulées et l'actualiser, dans leur vie professionnelle, grâce à la formation tout au long de la vie et aux diverses modalités d'entretien des savoirs. Il faut sûrement inventer maintenant les mécanismes financiers qui permettront le passage d'une formation de consommation (cours dispensés au quotidien à un moment très limité de la vie d'un individu) à une formation d'investissement, capitalisable sur la longue durée.

Les enseignants et chercheurs des écoles et autres formations d'ingénieurs sont incités à réaliser des produits d'information et de formation aisément transférables, échangeables (les différents appels d'offres et programmes de l'Union européenne, comme le récent Campus virtuel suisse, mettent fortement l'accent sur cette nouvelle approche du transfert des connaissances). Il faut pouvoir alimenter des banques de cas et des bases de données didactiques. Il faut pouvoir créer des cours diffusables par satellite ou à travers des réseaux d'ordinateurs (internet, par exemple), le marché de la formation des ingénieurs se mondialisant. Dans ce contexte, la rémunération d'un formateur doit de plus en plus privilégier l'investissement fait lors de la réalisation d'outils didactiques largement utilisables, intégrables, transférables plutôt que se limiter à la seule rétribution des heures passées dans une salle de cours. La formation devient un investissement culturel et économique et l'enseignement, une prestation industrialisable.

Par ailleurs, la composante principale d'une formation d'ingénieurs a toujours été, et restera, la formation méthodologique. Celle-ci est acquise pour l'essentiel pendant les toutes premières années du cursus, mais est approfondie en fin de formation dans les domaines ou contextes précis d'ingénierie étudiés. Le développement de nouveaux processus d'information et de formation, basés sur le recours aux TIC, conduit les étudiants à recourir aux heuristiques d'apprentissage les plus riches et les plus efficaces. Ainsi cherchera-t-on à stimuler la découverte des milieux différents (l'entreprise, l'étranger, les autres disciplines), à faciliter la compréhension de la transversalité de toutes les activités humaines. La communication sous toutes ses formes (orale, écrite, audiovisuelle, électronique...), la dynamique des groupes mixtes, la maîtrise des langues, l'expérience internationale et interculturelle sont autant de composantes d'une formation aux méthodologies de l'information active et du travail efficace. La communication électronique basée sur l'interconnexion des hommes et des réseaux au niveau de la planète, sur la logique hypertextuelle de navigation et sur l'intégration multimédia de sources d'information variées constitue à cet égard un levier puissant pour le développement de nouvelles civilités académiques, scientifiques et professionnelles.

Conclusion

La formation des ingénieurs, comme toutes les formations de l'enseignement supérieur, va connaître dans les prochaines années de profondes mutations du fait de l'émergence de la société de l'information, de la connaissance et de l'intelligence. Les technologies de l'information et de la

communication commencent à modifier en profondeur aussi bien les manières d'accéder au savoir et de transmettre les connaissances que les contenus de formation eux-mêmes. Les établissements sont de plus en plus confrontés à la nécessité d'intégrer cette nouvelle donne dans leurs schémas stratégiques de développement. Les points de départ et d'arrivée des développements envisagés sont et seront des plus variés et il sera de plus en plus difficile de définir un modèle unique, canonique de ce que peut être une bonne formation d'ingénieurs. Tout en se situant dans un contexte global, mondial, les TIC brouillent sérieusement les cartes et redonnent tout leur sens aux approches centrées sur les besoins spécifiques personnels des apprenants et sur les contextes dans lesquels ils se situent. Avec elles, deux siècles de rationalisme de la formation des ingénieurs s'achèvent.

Bibliographie

ARIADNE (Lausanne), Plate-forme distribuée de modules de formation, <http://ariadne.unil.ch/>

CALISCE, *Computer Aided Learning in Science and Engineering*, Conférence 1998, Göteborg, <http://www.pedu.chalmers.se/calisce98.html>.

EDUCATE, IntoInfo : dispositif mixte d'information-formation pour la formation des ingénieurs à l'usage de l'information spécialisée, <http://educate.lib.chalmers.se/>.

ENESAD, *Colloque européen sur l'autoformation: pratiques d'autoformation dans la société de l'information*, Etablissement national d'enseignement supérieur agronomique de Dijon et Groupe de recherche sur l'autoformation, Dijon, 10-12 décembre 1998. <http://www.educagri.fr/graf98> et <http://www.educagri.fr/graf98/communic.htm>.

EPFL, *NTIC : quels apports pour l'enseignement supérieur et la formation continue ?*, Lausanne, Colloque 1998, <http://cpd1.epfl.ch/cpd/PageColloque98.html>.

EuroPace, Plateforme d'enseignement à distance, <http://www.europace.be/>

MICHEL Jean, « Nouvelles approches de la formation par les nouvelles technologies et le multimédia. La démarche de l'Ecole nationale des ponts et chaussées », Colloque organisé par *Le Journal du Multimédia*, Paris, octobre 1999. <http://www.enpc.fr/~michel-j/publi/JM321.html>.

MICHEL Jean, « Les nouvelles technologies de l'information et de la communication », in *La Lettre de l'ENPC*, n° 138, octobre 1998. <http://www.enpc.fr/~michel-j/publi/JM314.html>.

MICHEL Jean, « Engineering Education : Towards Virtual Universities », Communications faites à Budapest et Prague (contrats Unesco) sur les universités virtuelles, printemps 1998, <http://www.enpc.fr/~michel-j/publi/JM310.html>.

MICHEL Jean, « L'information au cœur de la transformation des systèmes de formation : le cas des écoles d'ingénieurs », *Actes du colloque Transinfo 96*, ADBS, Paris, 1997, <http://www.enpc.fr/~michel-j/publi/JM288.html>.

NAWeb 98, *The Virtual Campus*, 3-6 octobre 1998, New Brunswick, Canada
<http://www.unb.ca/wwwdev/naweb98>

NTCIF 98, *Nouvelles technologies de l'information et de la communication pour la formation*, Rouen, 18-20 novembre 1998, <http://nticf98.insa-rouen.fr/>.

RUFIS 97, *Role of Universities in the Future Information Society*, Prague 1997,
<http://dellsp2.vc.cvut.cz/ascii/cc/icsc/NII/>;
<http://www.cvut.cz/cp1250/cc/icsc/NII/schedule/index.html>

RUFIS 98, *Role of Universities in the Future Information Society*, Mexico 1998,
<http://www.rufis98.ur.mx/>
<http://dellsp2.vc.cvut.cz/ascii/cc/icsc/NII/>