
Essai d'étude historique de l'enseignement du Numérique :

Du "cambouis technologique" aux compétences adaptées à des usages personnels et professionnels intégrés

Jean-Louis Bernaudin, ancien délégué général de l'association Pasc@line

*Association Pasc@line,
3 rue Léon Bonnat, 75016 Paris
contact@assopascaline.fr*

RÉSUMÉ. L'informaticien a trop vite ignoré sa parenté avec les métiers antérieurs comme ceux de l'industrie ou de l'organisation. Bon nombre des problèmes que connaissent encore les systèmes d'aujourd'hui découlent directement de ce schisme progressif, qu'il s'agisse des strates accumulées au cours des décennies ou de certaines approches contemporaines essentiellement soucieuses de l'optimisation technique au détriment de l'usage qui en est fait, voire de leur « utilisabilité ». Il semble essentiel de mettre en évidence la manière dont les technologies les plus récentes sont susceptibles de limiter la prolongation de telles erreurs, au fur et à mesure que l'usage devient plus individuel et relie vie privée et vie sociale, en impliquant ergonomes ou psychosociologues...

Ceci serait facilité par l'intégration au futur musée d'une composante relative à l'histoire de l'enseignement du Numérique, avec ses forces et ses lacunes...

1. Introduction

Alors que rarement technologie s'est trouvée présentée sans passé, comme l'informatique peut l'être, la création d'un Musée de l'Informatique et de la société Numérique en France doit, selon Pasc@line et compte tenu de notre expérience au contact des jeunes, qu'ils soient praticiens amateurs ou étudiants engagés dans un cursus spécialisé, être représentative de la dynamique enclenchée depuis des siècles et dont la poursuite exponentielle engage l'avenir de nombreuses générations : la généalogie est en effet bien connue : il s'agit de la descendance des efforts millénaires d'automatisation des calculs (du mécanisme d'Antikythera, "calculateur astronomique" daté d'environ 80 avant notre ère, à la machine de Babbage en passant par la Pascaline de Blaise Pascal ou les règles logarithmiques de Napier) et

Vers un Musée de l'Informatique et de la société Numérique en France ?

des automates industriels avec des systèmes de commande, de régulation et de programmation sophistiqués, issus de l'industrie horlogère et de ses applications aux métiers à tisser.

Il semble donc indispensable de faire apparaître les liens entre les efforts de productivité industrielle et la transformation qui émerge des outils intégrés ou spécialisés de productivité et de communication individuels connectés à des fins aussi bien de lien social que ludiques.

Le mot d'intégration reste central, qui vise à la fois à limiter l'intervention humaine — ou, à tout le moins, à l'assister — dans des processus de plus en plus complexes et faisant intervenir des acteurs divers et de plus en plus dispersés. Il est évidemment corrélé à la fusion progressive des technologies purement informatiques et celles qui sous-tendent les télécommunications.

2. De la préhistoire numérique aux systèmes d'aujourd'hui

2.1 La triple origine

Dès l'origine de l'informatique moderne que l'on peut situer à la fin du XIX^e siècle, on ne doit pas oublier les différences majeures en termes d'usages et d'objectifs de ce qu'il est rapidement convenu d'appeler informatique de gestion, informatique temps réel et informatique scientifique et leurs conséquences en termes d'architecture des machines et de ce qui ne s'appelle pas encore le logiciel.

La mécanographie, ancêtre quelque peu oublié de l'informatique de gestion, vise d'emblée à automatiser les tâches administratives, dans un pur souci d'accroissement de la productivité, indissociable de l'organisation du travail collectif.

Au-delà du souci de démultiplier la puissance de calcul du cerveau humain, les années 40 verront naître les calculateurs scientifiques spécifiquement liés à l'effort d'armement de la deuxième guerre mondiale.

Parallèlement, les efforts d'automatisation de la production industrielle déboucheront sur l'emploi, en complément puis à la place d'automates électromécaniques, de calculateurs dérivés des précédents et dédiés la conduite automatisée de certaines machines et installation de production, encore appelée informatique de process ou de conduite de processus, caractérisés par la nécessité de piloter « en temps réel¹ ». Un cas particulier en dérivera, avec le remplacement progressif des équipements de commutation téléphonique entièrement électromécaniques par des systèmes numériques dédiés, et la numérisation de la voix et de l'image fixe puis animée, débouchant sur les réseaux numériques combinant

¹ Ce terme ne peut être défini de manière rationnelle, et on y substituera plutôt la notion de « temps utile » respectueux des contraintes de temps de réponse imposées par l'objet, statique ou dynamique, placé dans son contexte d'utilisation

matériels dédiés et protocoles et unifiant le transport et l'acheminement de tous types d'informations (voix, données, images...).

Les progrès naissent ensuite, avec une corrélation très lâche, de travaux de recherche longtemps disjoints, et l'enseignement dans l'enseignement supérieur restera longtemps marqué par cette segmentation entre, d'une part, les spécialistes de l'un des trois domaines et, d'autre part, les spécialistes des architectures matérielles et ceux, progressivement plus nombreux, qui maîtrisent les différents niveaux de logiciel.

2.2 L'héritage de la mécanographie

Tout part en fait de la fin du 19^e siècle, avec l'invention par le statisticien américain Herman Hollerith² de la carte perforée moderne (elle était dans son principe déjà connue depuis Jacquard) pour l'utiliser dans une machine destinée à analyser les résultats du recensement de 1890. Alors que l'américain W. Bourroughs crée en 1885 la première machine comptable, engageant la comptabilité dans des voies nouvelles, les efforts de rationalisation et d'organisation de la production industrielle théorisés et diffusés par les Frederick Taylor³ et autres Henri Fayol⁴ vont se traduire par l'introduction progressive d'un certain degré d'automatisation dans les tâches administratives.

La mécanographie, fondée sur les cartes perforées qui représentent une technologie de mémoire dont la capacité est illimitée, permet de conserver des informations permanentes codées sur des supports manipulables qui peuvent être lus automatiquement et ordonnés en "fichiers".

A partir de cinq machines de base, la perforatrice - vérificatrice, la trieuse, la tabulatrice, la perforatrice connectée et l'imprimante, le traitement des informations va s'opérer au travers de trois fonctions d'entrée - sortie (lecture de cartes, impression, perforation de cartes et l'exécution programmée des quatre opérations arithmétiques dans des totalisateurs mécaniques. Sans omettre des machines secondaires comme l'interclasseuse qui assiste la trieuse en fusionnant des fichiers déjà triés. Les traitements suivent une logique spécifique qui doit enchaîner et contrôler les opérations réalisées en séquence par un programme réalisé en modifiant le câblage de la tabulatrice par un tableau de connexion amovible. La tabulatrice a une capacité de traitement et une puissance finie, il est alors nécessaire de découper artificiellement le traitement qui sera réalisé en plusieurs "unités de traitement logique" et la création de fichiers transitoires. Ces traitements partiels liés à une recherche d'optimisation des temps ont contribué à structurer les futures "chaînes " de programmes informatiques. La mécanographie est structurellement un traitement d'information par "lot", l'équivalent du "batch" actuel, car l'accès à l'information est séquentiel.

² Hollerith fonde en 1896 la Tabulating Machine Co. qui deviendra plus tard IBM

³ « The Principles of Scientific Management », 1911

⁴ « Administration industrielle et générale », 1916

La mécanographie est déjà fort répandue dans les grandes entreprises américaines et britanniques à la veille du premier conflit mondial. En France, l'éclosion interviendra dans les années 1920 et surtout 1930⁵, date à laquelle, par exemple, les services du ministère des Finances commencèrent à utiliser ces techniques⁶.

Certes, les résultats bénéfiques de l'emploi des machines se traduisent par un accroissement de la productivité : augmentation du rendement, gain de temps, économie de travail se conjuguent pour favoriser une réduction des effectifs. Par ailleurs, la mécanisation augmente la précision et la sûreté dans l'exécution des tâches concernées et démultiplie les capacités de calcul, permettant de résoudre des problèmes nouveaux et d'entreprendre des traitements jusque-là impossibles.

Mais pour qu'une opération de mécanisation remplisse, à un coût acceptable, ses objectifs en matière de gain de productivité, il faut que l'équipement choisi convienne mieux que tout autre à l'application envisagée. L'organisation et la mécanisation sont deux opérations différentes, mais étroitement liées. En effet, toute installation de machines doit être précédée par une étude générale scientifique, qui doit définir au préalable les objectifs recherchés et en mesurer l'impact sur le fonctionnement du service. Cet aspect est trop souvent négligé.

Le ver est alors déjà dans le fruit. Nous n'avons aujourd'hui toujours pas fini de subir les conséquences de ces approches par "silos" et du manque de recul en termes d'organisation.

En fait, dès que les calculateurs sont utilisés en gestion⁷ — pour du stockage, du tri et de la recherche de données, extrapolation dans un premier temps des principes mécanographiques —, on se trouve, par rapport à des machines conçues pour le calcul scientifique, dans un changement de paradigme, avec beaucoup d'entrées-sorties, la gestion de fichiers et bases de données sur lesquels sont effectués des calculs simples et en petite quantité unitaire et, assez rapidement un problème de mise en place d'interfaces homme - machine adaptées à des utilisateurs de tous niveaux. Ce n'est que beaucoup plus tard que s'ouvriront des usages pour la communication individuelle et de groupe.

On ne parle pas encore de Système d'Information — par opposition au système informatique que l'on peut définir comme l'ensemble de moyens matériels et logiciels assurant le stockage, le traitement et le transport des données sous forme électronique —, mais la continuité avec la mécanographie va bien conduire à s'intéresser à un tel ensemble constitué par la définition des processus propres au(x) métier(s) de l'entreprise et par celle des stocks et flux d'information éclairant ces

⁵ Au début des années 1980, les plus anciens de l'usine Alsthom (orthographe de l'époque), qui m'employait alors, n'utilisaient jamais le mot informatique, mais, forts d'une expérience de plus de cinq décennies, parlaient de la "mécano"...

⁶ D'après Aouatef Chérif : "La mécanographie et ses répercussions au sein de l'administration française, l'exemple du ministère des Finances (1930-1970)" - Thèse de l'Ecole des Chartes soutenue en 2006

⁷ Le premier ordinateur commercialisé, l'Universal Automatic Computer ou Univac I, a été construit en 1951

processus, puisque, par définition, dans une organisation, les tâches sont partagées entre équipes ou individus.

L'intervention humaine reste majeure dans cet ensemble, car toutes les tâches ne sont pas automatisables, soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons économiques.

2.3 Processus et méthodes

À partir des années 60, les professionnels de l'informatique de gestion se sont préoccupés des "méthodes". Ces "méthodes" sont une description de l'action des informaticiens qui conçoivent et développent les logiciels de gestion.

« Elles ont été au centre de la recherche en système d'information et en ingénierie. Le succès des progiciels (ERP) et les conséquences de l'apparition du paradigme objet, comme on le verra dans le prochain chapitre, ont diminué leur importance au cours des années 90.

Durant ces 40 ans, la notion de "méthode" a tout d'abord émergé, puis la méthode Merise est devenue commune aux informaticiens français. Ce standard a ensuite évolué dans diverses directions pour finalement se recentrer sur UML en tant que nouveau standard d'une conception orientée objet. Avant Merise, d'autres méthodes ont existé dont la plus célèbre, en France, a été CORIG. »⁸

Les jeunes ingénieurs, n'ayant que l'expérience de l'informatique, ont eu tendance à ne plus connaître que cette part du métier. Les spécificités y sont nombreuses. Un métier nouveau émerge avec ses connaissances propres, en renouvellement permanent, en fonction des innovations techniques. L'informaticien a ignoré très vite sa parenté avec le métier de l'organisateur, auquel on ne forme dès lors plus guère !.

Bon nombre des problèmes que connaissent les systèmes d'aujourd'hui découlent directement de ce schisme progressif, qu'il s'agisse des strates accumulées au cours des décennies ou de certaines approches contemporaines essentiellement soucieuses de l'optimisation technique au détriment de l'usage qui en est fait, voire de leur "utilisabilité".

La méthode MERISE voit officiellement le jour en 1978. Elle est devenue la méthode d'analyse des systèmes d'informations la plus utilisée par les sociétés et les administrations françaises : l'estimation actuelle est de 60% des entreprises. Elle s'appuie à la fois sur une méthode, puis sur un nombre grandissant d'outils logiciels d'aide à la conception de systèmes informatiques.

Cette méthode, toujours enseignée, apporte une aide considérable à la formalisation des concepts d'étude des systèmes d'informations ; une aide reconnue par une majorité de professionnels, de formateurs, et d'universitaires; ce qui peut

⁸ Jean-Louis PEAUCELLE, CORIG, histoire d'une méthode en informatique de gestion, Revue Systèmes d'Information et Management, 2002, vol. 7 n° 3

répondre aux quelques détracteurs qui lui reprochent un certain manque de rigueur. Mais le monde académique, compte tenu de ses recherches qui l'orientent principalement vers les bases de données, privilégiera toujours les modèles de données de Merise, laissant l'étude des processus tomber en désuétude, jusqu'à l'émergence, au début des années 90, du *Business Process Reengineering* (BPR)

En effet, alors que du fait de l'internationalisation d'une gestion de plus en plus axée sur des projets (lancement de nouveaux produits, reconfiguration des supply chains...) les équipes sont mobiles et de plus en plus dispersées géographiquement, il n'est plus possible de conserver des systèmes applicatifs – qui ne sont pas encore des systèmes d'information – qui ont repris, réorganisé, selon les principes méthodologiques que l'on vient de voir, et optimisé des procédures au sein desquelles on a, depuis des décennies, raisonné en termes d'automatisation de tâches immuables en visant exclusivement à accroître la productivité individuelle. L'optimisation globale n'est pourtant pas, comme chacun le sait, obtenue par la somme de sous - optima.

En 1990, Michael Hammer, ancien professeur de "computer science" au MIT, publie un article dans la *Harvard Business Review*, dans lequel il affirme que le principal défi pour les managers est de faire disparaître les tâches sans valeur ajoutée, plutôt que d'investir à tort dans la technologie, et en particulier l'informatique pour les automatiser.

Au contraire, les entreprises devraient reconsidérer leurs processus pour maximiser la valeur ajoutée au profit de leurs clients, tout en minimisant la consommation de ressources nécessaires à la production de leurs produits ou services. Hammer et Champy définissent le BPR comme

« le fait de repenser fondamentalement et de reconcevoir radicalement les processus de gestion pour apporter des améliorations spectaculaires aux critères de performance critiques aujourd'hui, tels que les coûts, la qualité, le service, et la réactivité. »

Le BPR découle de différentes disciplines, et quatre grands domaines peuvent être identifiés comme sujets à des changements au cours d'une telle démarche : l'organisation, la technologie, la stratégie, et les salariés, démarche dans laquelle un processus constitue le cadre commun de référence pour envisager ces différentes dimensions.

Dès 1993, Hammer et Champy identifient plusieurs « technologies de rupture » supposées remettre en cause la sagesse traditionnelle des méthodes de gestion :

- Les bases de données partagées, rendant l'information disponible à tous et partout, alors que la logique de "silos" qui prévalait jusqu'alors, dans la droite ligne de l'automatisation de tâches au sein d'un service, faisait de ce dernier le "propriétaire" et l'utilisateur exclusif des données ainsi stockées.
- Les systèmes experts, permettant à des généralistes d'exécuter des tâches de spécialistes.

- Les réseaux de télécommunications, permettant à l'entreprise d'allier instantanément les avantages de la centralisation à ceux de la décentralisation.
- Les outils d'aide à la décision, permettant à chacun d'inclure la prise de décision dans son travail quotidien (au titre de l'*empowerment*).
- La communication sans fil et les ordinateurs portables, rendant chaque salarié mobile indépendant de sa présence physique au bureau pour l'exécution des tâches qui lui sont confiées.
- Les technologies multimedia interactives, autorisant un contact immédiat avec les prospects... en attendant l'Internet !
- L'identification automatique et le *tracking* des objets, permettant à ceux-ci de signaler leur localisation, plutôt que de nécessiter de longues recherches.
- Le calcul à haute performance, autorisant l'ajustement en temps réel de la planification et du suivi de son exécution.

Plus tard d'autres technologies viendront enrichir la panoplie (et le marketing de leurs fournisseurs !), comme les outils de gestion de *workflow* ou les ERP (*Enterprise Resource Planning*).

C'est donc le grand retour de l'organisation et de la notion de procédure, définitivement rebaptisée processus.

2.4 Le problème de l'intégration

Mais à cette époque, il n'est plus, nulle part, possible de partir d'une table rase pour mettre en place le système d'information idéal pour appuyer les efforts de *reengineering*.

On se trouve face à trois ou quatre décennies de systèmes empilés, patrimoine hétérogène multi-fonctions, multi-silos, créés en fonction des jeux de pouvoir du moment, des priorités correspondantes, sans oublier les modes technologiques.

On constate d'ailleurs, au cours des décennies 1960 à 1990, un curieux parallèle – où est la poule, où est l'œuf ? – entre les offres commerciales des constructeurs d'ordinateurs et les modes qui sévissent en matière de management. Au modèle historique de l'entreprise pyramidale, centralisée et hiérarchique selon le schéma militaire, correspondent les "mainframes" trônant dans des temples inaccessibles et servis par un clergé ésotérique d'informaticiens seuls détenteurs de la gnose. Puis, en réaction au taylorisme, viendra, dans les années 78-85, le temps du "management participatif par objectifs" prônant décentralisation et responsabilité et qui s'accompagnera de l'éclosion anarchique de systèmes décentralisés, à base de mini-ordinateurs⁹ et des premiers réseaux locaux de microordinateurs, exploités

⁹ Type de machine qui a totalement disparu après l'émergence des micros, mais qui apportait des solutions plus souples que les mainframes dans leur mise en œuvre et leur exploitation, d'un coût autorisant un niveau de décision très décentralisé pour l'investissement qu'ils représentaient, avec l'inconvénient que HP, Digital et autres fournissaient des matériels et des

directement par les unités qui en prennent la totale responsabilité, avec des conséquences prévisibles en termes de communication entre silos. Quand apparaîtra la notion d'"entreprise étendue" et plus ou moins "virtuelle", la technologie sera en mesure d'offrir des réseaux de machines physiques ou virtuelles, à la topologie dynamique et reposant, enfin, sur des standards de communication.

De plus ces systèmes ont été fréquemment "enrichis" — en fait complexifiés — par des fusions - acquisitions, sources d'ajouts fonctionnels. En effet, on retient souvent, après ce type de rapprochements d'entreprises, les modules les plus intéressants issus des deux sources, visant une gestion optimisée du nouvel ensemble, mais générant ainsi, pour ce louable objectif, de nouvelles hétérogénéités fonctionnelles et techniques.

Les décennies de création d'applications non communicantes entre elles, soit par simple modernisation technologique de l'automatisation mise en œuvre à l'époque de la mécanographie, soit faute d'une autorité bénéficiant du recul nécessaire pour conserver cette vision de la "totalité" évoquée ci-dessus. Il est aussi vrai que les démarches de type "schéma directeur", fort en vogue des années 75 à 90, ont conduit, en raison des délais déraisonnables auxquels ils conduisaient pour la réalisation de projets souvent pharaoniques, les "utilisateurs", c'est-à-dire les gestionnaires – clients internes –, à mettre en place de manière "sauvage" des palliatifs à usage local peu préoccupés de partage de données ou d'interconnexions avec d'autres secteurs de l'entreprise.

Il aurait certes été utile de réécrire des applications qui par strates successives avaient accumulé les approximations de plusieurs générations de développeurs. Mais, outre le fait que le peu de goût de ceux-ci pour la documentation de ce qu'ils réalisaient a conduit à des situations délicates dès lors qu'il s'agissait de modifier certains programmes existants – comme on l'a redécouvert lors des homériques passages à l'an 2000 et à l'euro –, ceux qui tiennent les cordons de la bourse rechigneront toujours à réinvestir dans la reconstruction quasiment à l'identique et sans valeur ajoutée de systèmes qui n'auront mal vieilli que parce que mal nés.

2.5 *La quête du Graal*

Inutile dans ces conditions d'évoquer la consolidation comptable des données de gestion ainsi éparpillées au sein des îlots applicatifs successivement développés aux quatre horizons d'une entreprise.

C'est pourtant bien de cette problématique qu'émergeront successivement deux axes d'intégration des systèmes d'information.

Le premier est celui de l'EAI (*Enterprise Application Integration*) dont l'objet est l'interopérabilité et l'organisation de la circulation de l'information entre ces applications historiquement disjointes et hétérogènes, c'est-à-dire qu'un tel système vise à faire communiquer les différentes applications constituant le système

logiciels totalement incompatibles d'une marque à l'autre...

d'information de l'entreprise, y compris, aujourd'hui, avec celles des clients, des partenaires ou des fournisseurs, éléments de "l'entreprise étendue".

Le deuxième axe apparu progressivement pour intégrer les systèmes d'information, au lieu de procéder par des aménagements a posteriori, agit en amont lors des efforts de reconception. C'est la principale raison du succès d'un progiciel comme SAP, qui, en dépit de lourdeurs technologiques pénalisantes au départ, a connu le succès que l'on connaît par une stratégie marketing visant non les directions informatiques, mais les directions générales.

Le progiciel, au lieu d'automatiser des processus définis par chaque unité de gestion au niveau microscopique, apporte une structure de processus suffisamment souple et adaptable, mais déjà éprouvée à des milliers d'exemplaires pour les principales tâches de gestion, permettant de concentrer les efforts créatifs sur les domaines spécifiques de l'entreprise qui constituent ses atouts concurrentiels.

C'est l'intégration a priori, fruit des progrès technologiques, mais instillée par la volonté au plus haut niveau de faire de ces technologies l'instrument d'une stratégie et d'une philosophie de gestion et non un but en soi.

Il n'est pas sûr que les formations dispensées à nos jeunes diplômés envisagent de telles technologies à cette aune. Il n'est qu'à en juger par les leçons que tirent les jeunes ingénieurs au bout de deux ans passés le nez dans le paramétrage de semblables ERP...

Depuis quelques années, l'urbanisation des systèmes d'information est à la mode. Compte tenu des empilages évoqués ci-dessus, l'effort de rationalisation s'apparente en effet au remodelage de banlieues hétéroclites, un peu à la façon dont se présentait le quartier de La Défense à la fin des années 1950.

3. Evolution de la formation

3.1 Les prémices d'un enseignement spécialisé

L'utilisation des machines comptables, des machines à cartes perforées (trieuses, interclasseuses, tabulatrices, calculatrices, imprimantes...) pour la gestion administrative et commerciale, a créé des tâches particulières nouvelles liées au « traitement automatique de l'information » (analyse, saisie et organisation des données, programmation, exploitation des résultats...). Le développement des métiers de la mécanographie, leur évolution technologique rapide exige des enseignements nouveaux. Un brevet professionnel est créé en 1944 et en 1946 un CAP de mécanographie (rappelons que cette technologie a commencé à se répandre en Europe à la veille de la Première Guerre Mondiale !). Ce n'est qu'en 1952, au Lycée technique de Mâcon, qu'une formation initiale pour mécanographes est mise en place ; elle est tournée vers l'entretien et la maintenance des matériels. Un arrêté du 26 septembre 1957 institue le Brevet de Technicien Supérieur de "la mécanographie à cartes perforées et de ses prolongements électroniques" qui est

préparé en lycée technique. Simplement une grosse trentaine d'années de retard sur les Etats-Unis pour ce qu'on appellera plus tard l'enseignement de l'informatique de gestion...

Du côté de l'enseignement supérieur, les Universités valorisent Algol qui est à l'origine de multiples langages scientifiques. Dans la première moitié des années 50, une vingtaine d'ordinateurs sont dans des universités, des instituts et des laboratoires (Conservatoire National des Arts et Métiers). Des diplômes scientifiques apparaissent, mais restent rares.

3.2 Les écoles d'ingénieurs

3.2.1 De 1960 à la décennie 1990

Il n'y a pas encore, dans les années 60, de véritable distinction entre ce qui relève de l'électronique, qui a commencé à se développer dès avant la seconde guerre mondiale. C'est cet aspect qui prédomine autour de la structure des calculateurs. Les options purement « Informatique » apparaîtront tardivement¹⁰. L'enseignement des technologies numériques est alors très théorique, l'investissement dans le matériel ne permettant pas un développement massif des travaux pratiques. La machine est un ordinateur central, le plus souvent exploité en batch, et les étudiants n'ont pas accès au « saint des saints ». Et l'on se souviendra que les microordinateurs ne commenceront à se répandre, là où les crédits le permettent, que dans le troisième tiers des années 1980.

De plus, dans un marché qui n'est pas encore consolidé, le problème de la compatibilité matérielle et logicielle va être à l'origine d'une débauche d'efforts, sous influence de la course concurrentielle aux standards¹¹ que le monde de l'enseignement aura du mal à débroussailler pour donner aux étudiants une vision claire des principaux concepts en jeu. Toujours l'opposition entre l'idéal intellectuel cher aux chercheurs et les plates réalités requises par le marché !

C'est une époque où les praticiens, ingénieurs ou non, sont majoritaires parmi les enseignants, les enseignants-chercheurs titulaires d'un doctorat n'étant pas assez nombreux et la réglementation de l'époque n'imposant d'ailleurs pas de quotas en la matière.

Une certaine confusion s'installe alors en France dans l'enseignement de ce qui, sous le vocable global d'informatique, recouvre à la fois les disciplines identifiées et codifiées par les anglo-saxons comme *software engineering*, *computer engineering* et *computer science*. Sans oublier réseaux et télécommunications, dont l'intégration avec l'informatique renforce progressivement la vogue de leur enseignement, avec une corrélation plus ou moins floue aux domaines précédents.

¹⁰ J'ai personnellement fait partie de la première promotion de cette option à l'ENST – aujourd'hui Telecom ParisTech – en 1969 !

¹¹ Qui ne prendra fin qu'à la fin des années 90 avec l'émergence de standards de facto de connectivité apportée par Internet

Il eût peut-être été bon de commencer par se mettre d'accord sur les objectifs qui sont ceux d'un génie logiciel maîtrisé, et, partant, ceux qui devraient piloter la mise en place des programmes de formation correspondants.

Parmi les impératifs évidents, on va trouver les capacités d'innovation et les améliorations de productivité que permettront les systèmes élaborés, compte tenu du poids croissant que prennent les technologies de l'information dans le fonctionnement de l'économie des affaires.

Alors que l'on continue à observer d'inadmissibles difficultés de mise en place et d'exploitation dans ce type de systèmes, il est trop souvent nécessaire d'incriminer un manque de cohésion et de cohérence entre l'approche "métier" et les technologies mises en œuvre. Avec l'accroissement de la complexité, des démarches rigoureuses de qualité dans la conduite des projets – dans la phase non récurrente – et de maintien du niveau de service défini contractuellement avec l'utilisateur – client – dans la phase d'exploitation – deviennent pourtant essentielles pour mettre en place les fonctionnalités attendues qui, seules, procurent une véritable valeur ajoutée.

Mais la qualité et sa gestion sont enseignées aux ingénieurs « industriels » plutôt qu'aux futurs informaticiens...

Dès les années 1990, le besoin d'évolutivité de tels systèmes découle directement de la rapidité des changements des structures économiques (fusions et acquisitions), des processus (*supply chain* ou relation clients...) et des technologies sous-tendant de nouveaux produits avec des exigences de *time-to-market* généralement serrées.

L'ingénieur devra également, pour cette même raison, faire face à des attentes accrues en termes de sécurité des systèmes à base de logiciel qu'il produira. Mais il devra être également conscient que la notion de logiciel hautement sécurisé, sans erreurs, représente un objectif qui n'est pas totalement hors d'atteinte, mais a été, pour des raisons simples d'équilibre entre prix de revient et risques consentis, recherché et obtenu uniquement dans des domaines précis, tels que les secteurs de l'aéronautique, de l'espace, ou des systèmes militaires.

De manière générale, l'expansion de l'usage des systèmes informatisés à un large public non professionnel (cas des sites Internet grand public) propulse les besoins non fonctionnels sur le devant des préoccupations dans une architecture digne de ce nom. Si, bien sûr les besoins fonctionnels, que l'on vient d'évoquer, doivent être satisfaits sans faille, les besoins non fonctionnels deviennent déterminants dans la structure, le dimensionnement et, partant, le coût, des systèmes. Eux qui ont nom performance – temps de réponse sous une charge définie contractuellement, par exemple –, capacité à évoluer en cas de montée en charge, en anglais *scalability* –, disponibilité – qu'il s'agisse de la définition planifiée des plages de fonctionnement ou des paramètres acceptables en cas d'interruption de service –, connectivité – aux systèmes extérieurs –, etc.

La "maintenabilité" des systèmes, exacerbée par l'intégration croissante des composants logiciels, constitue l'un de ces besoins dont on n'a pris conscience qu'assez tardivement. Or, trop souvent la mise en perspective historique est négligée, posant à terme des problèmes graves de maintien des systèmes en conditions opérationnelles. Quand on sait, par exemple, qu'un navire de combat a une durée de vie d'une quarantaine d'années, la Marine Nationale a connu récemment de graves difficultés dans la maintenance évolutive de certains systèmes embarqués à base de calculateurs Bull Mitra datant des années 70, faute d'avoir pu conserver des compétences sur ce type de systèmes, qui souffraient par ailleurs de graves lacunes de documentation des programmes.

Une vue unifiée de la démarche de développement, qu'il s'agisse de moderniser, étendre, construire, intégrer, déployer un système, s'impose donc.

3.2.2 *La situation d'aujourd'hui : Nouvelles technologies ou nouveaux usages ?*

On s'aperçoit, depuis quelques années, que l'apport essentiel des technologies qui émergent successivement des apports de la recherche s'énonce moins en termes de performances que de nouvelles possibilités – voire de bouleversements de la vie quotidienne individuelle et professionnelle – liées aux usages innovants qu'elles

Des exemples significatifs des défis à relever pour le monde des ingénieurs se trouvent dans l'application de ces technologies au développement durable (énergie et urbanisme), au domaine de la santé, de la rétro-ingénierie du cerveau (visant, entre autres, à faire progresser l'intelligence artificielle en bâtissant des simulations précises de cet organe), de l'univers de la culture, de la sécurisation des réseaux (ne négligeant pas la psychologie des utilisateurs), Internet des objets "intelligents" et "communicants" (fondé sur le RFID et les technologies sans contact) ou de la mise en place d'un cloud computing réaliste (dans un modèle économique définissant clairement les unités d'œuvre consommées et leur mesure pour mettre à disposition des marchés une véritable puissance informationnelle à la demande), sans omettre les Systems on a Chip et les technologies Machine to Machine.

À travers Internet, la mobilité, la géolocalisation, la "pervasivité", nous vivons des évolutions importantes, voire essentielles, mais qui relèvent de l'évolution logique de la révolution informationnelle, au même titre que le passage de la motricité à la mobilité.

De manière homologue, toutes ces technologies émergentes posent donc des problèmes davantage liés aux usages qu'à une remise en cause systémique ou épistémologique. Et ces problèmes sont corrélés à des aspects psychologiques, sociologiques, marketing ou juridiques, rendant la tâche d'un ingénieur beaucoup plus complexe que la classique étude de faisabilité ou de rentabilité d'un produit plus traditionnel.

4. Prémises du futur

Enfin, pour permettre au futur Musée de l'Informatique et de la société Numérique en France d'articuler le passé avec le futur, ayons l'immodestie d'évoquer les principales propositions de Pasc@line, développées dans les rapports Économie numérique, innovation et enseignement : quelles conséquences ?¹² et Développement d'une société numérique cohérente : Pour une formation à une écologie de l'arbre des compétences^{13 14}, qui peuvent se résumer ainsi :

Dépasant le développement de doubles diplômes entre écoles d'ingénieurs et de management qui se cantonnent à concaténer les enseignements sans véritablement aider à en faire une synthèse transversale, il s'agit, dans une optique d'approche interdisciplinaire nécessaire à la conception et la mise en place de systèmes complexes de services, de développer une formation de "professionnels aux compétences taillées pour le numérique"¹⁵, pour structurer sur trois niveaux l'arbre des compétences d'un ingénieur ou d'un cadre supérieur :

- Les racines s'ancrant dans la formation traditionnelle d'ingénieur à la française tout en s'ouvrant à d'autres formations susceptibles, au-delà de la traditionnelle sélection sur les mathématiques d'apporter une rigueur équivalente à partir de compétences et de tournures d'esprit différentes.
- Le tronc, pilier vertical alimenté par ces racines, fondant les expertises propres aux différents profils de métiers d'ingénieurs aussi bien en connaissances, en compétences et en savoir-être.
- La ramure des compétences fortement pluridisciplinaires que chacun, après une première phase de formation initiale, va devoir développer au cours de sa vie professionnelle, en prenant appui au moment nécessaire sur la formation tout au long de la vie.

Ce développement de compétences transverses, permettant à des cadres visant d'évoluer à partir de leurs fonctions techniques initiales, pourra s'étendre au long de la vie professionnelle, Pôles de compétitivité et IRT¹⁶ aidant à mettre en place le nécessaire écosystème mêlant services et industrie – et plus particulièrement les PME.

Du fait des enjeux de diffusion, d'innovation et d'usage des services et produits numériques, il conviendra d'imprégner en profondeur les racines et le tronc d'une

¹² Publié en mai 2011 et disponible à l'adresse

http://www.assopascaline.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=225&Itemid=137

¹³ Libre traduction de ce que l'on nommerait en anglais "Tree-shaping engineering education"

¹⁴ Publié en décembre 2011 et disponible à la même adresse

http://www.assopascaline.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=225&Itemid=137

¹⁵ Libre traduction des "T-shaped professionals" issus de la "Tree-shaping engineering education"

¹⁶ Instituts de Recherche Technologique

telle formation de contenus relevant des Sciences Humaines et Sociales (SHS), en particulier à travers l'insertion de celles-ci dans des projets multidisciplinaires.

Les travaux de Pasc@line autour de la mise en place d'une approche compétences dans l'enseignement supérieur convergent également vers la nécessité de tels projets.

Dans le même esprit, il convient de promouvoir, comme outil d'orientation pour le futur professionnel, la formation par alternance, sous toutes ses formes (apprentissage, années de césure...), en renforçant sérieusement la coordination des tuteurs académiques et d'entreprise.

5. En forme de conclusion

En considérant le continuum scientifique et technologique et en prenant conscience des limites d'un enseignement souvent trop cloisonné¹⁷, il semble que le futur Musée de l'Informatique et de la société Numérique en France se doive de souligner l'importance de la notion d'intégration dans tous types de systèmes numériques et de mettre en lumière les efforts pédagogiques entrepris au fil du temps et destinés à combler les lacunes successivement identifiées par une multidisciplinarité active et volontariste.

Longue vie au Musée !

¹⁷ Et nous n'avons pas parlé de l'enseignement universitaire !...