

Le rôle de la technologie et de la pratique dans l'enseignement de l'informatique

Note de la commission TIC de l'Académie des Technologies

Février 2014 - version 0.2

1. Introduction

Cette courte note fait suite à plusieurs rapports sur l'enseignement de l'informatique, dont celui de « *Informatics Europe & ACM* » et, plus récemment, le rapport de l'académie des sciences, « *L'enseignement de l'informatique en France - Il est urgent de ne plus attendre* ». Ces deux rapports posent le cadre du débat avec quelques affirmations auxquelles la commission TIC de l'Académie des Technologies ne peut qu'adhérer. Citons, à titre d'exemple, trois idées principales extraites du rapport de l'Académie des Sciences :

- *La route vers le monde numérique repose sur les progrès conjoints de la science et de la technique informatiques.*
- *La science informatique est devenue une discipline autonome avec ses formes de pensée et ses résultats propres.*
- *Il y a quelque chose de faux dans la manière dont nous enseignons l'informatique, et encore plus, dans le fait que souvent nous ne l'enseignons pas.*

La commission TIC s'est réunie pour discuter sur l'enseignement de l'informatique, du primaire jusqu'au supérieur, et souhaite proposer un complément à ces rapports, pour apporter quelques éclairages sur l'importance de la technologie dans l'enseignement de l'informatique, et plus généralement sur la finalité de l'informatique dans notre société moderne, ce qui éclaire également la façon dont il faut l'enseigner.

Notre position est que la technologie, en tant que relation entre la technique et les usages, joue un rôle fondamental en informatique, et donc doit naturellement être intégrée dans son enseignement.

Nous allons développer cet argument en quatre parties. La section 2 traite de l'importance des modèles et de la vision systémique en informatique. Cette importance peut se lire de deux façons : à la fois l'importance d'enseigner la modélisation et les concepts de la systémique dans l'enseignement de l'informatique, mais également comme une raison de promouvoir l'enseignement de l'informatique car c'est une « école d'apprentissage des systèmes », un besoin fondamental du 21^e siècle. La section 3 revient sur l'importance de la technologie dans l'apprentissage en informatique, dans la relation intime entre le concept et sa mise en œuvre, entre l'outil et l'intelligence qui se développe par la pratique. Un enseignement informatique, pour être utile, doit s'intéresser aux technologies du moment, et il doit, par conséquent, être vivant et se renouveler en permanence. La section 4 approfondit le rôle de la pratique et de l'expérimentation dans l'enseignement de l'informatique. La pratique informatique est essentielle pour acquérir des compétences fondamentales qui vont au-delà de la science informatique. La dernière section évoque, brièvement et pour mémoire car ce n'est pas l'objet de ce document, l'irruption des technologies informatiques dans l'enseignement, en particulier les MOOC, ces cours participatifs « en ligne » qui connaissent une forte popularité.

2. Informatique : Modèles et Systèmes

Dans le monde complexe qui est le nôtre, la modélisation est essentielle pour la plupart des activités. C'est évidemment vrai pour la science, mais c'est également le cas pour l'activité industrielle, puisque l'amélioration continue et la mesure reposent sur la modélisation. L'enseignement de l'informatique, dans un sens large qui inclut la notion de système d'information, c'est-à-dire qui inclut les usages et les utilisateurs, peut et doit contribuer aux développements des capacités de modélisation des élèves.

La modélisation d'un système d'information, en prenant par exemple des exemples faussement simples comme le système d'information d'une classe, d'une bibliothèque ou d'une école, est un exercice très riche où apparaissent des notions fondamentales comme les données, les informations, les modèles, les services et les processus. Ce passage du logiciel au système d'information donne des nouvelles dimensions à l'architecture informatique, il faut donc veiller à ce que les programmes d'enseignement de l'informatique ne se détournent pas du domaine du système d'information au prétexte que celui-ci serait « uniquement un sujet appliqué ».

L'enseignement de l'informatique doit s'intéresser aux données, à leur sémantique et aux nombreuses questions relatives à leurs usages : volume, pérennité, respect de la vie privée et de la propriété, distribution, copie, etc. Comme nous l'a dit Henri Verdier lors d'une intervention auprès de la commission sur le «Big Data», « *data is the new code* », ce qui signifie que la primauté de l'algorithme dans le développement informatique est remis en question par des nouvelles façons de développer des systèmes, en se concentrant en premier lieu sur la nature et la richesse des données. Dans l'entreprise, les problèmes les plus fréquents sont souvent des problèmes de sémantique et de modèle, plus que des problèmes d'algorithme. Il ne convient pas non plus d'opposer l'importance des données avec celle de la logique et des algorithmes, mais d'élargir le champ conceptuel de ce qu'est un logiciel.

La pratique de l'informatique, confrontée au monde réel, s'appuie sur la modélisation et sur la connaissance de la machine ; elle apporte des concepts qui sont utiles à toutes les disciplines. Notre préconisation est donc double : renforcer l'attention donnée à la modélisation dans l'enseignement informatique et ne pas réduire sa finalité à la science informatique elle-même. L'informatique offre une opportunité de dépasser l'enfermement des disciplines, dans les deux sens, par exemple en faisant des cours de physique sur la technologie informatique.

3. Importance de la technologie

Dans le monde informatique, on innove, le plus souvent, en faisant, en réalisant un programme, un logiciel, un système ; la maîtrise de l'outil crée l'intuition. C'est vrai de façon générale, mais c'est particulièrement vrai en informatique et c'est également de plus en plus vrai, à cause de la complexité des outils et des problèmes que nous souhaitons traiter. C'est ce qui fait dire à notre collègue Etienne Klein : « Autrefois, l'ingénieur était capable de dire ce qu'il allait faire, parce qu'il jouait sur des déterminismes qu'il maîtrisait ... Aujourd'hui, on essaie d'abord puis on regarde le résultat : l'ingénieur ne sait pas à l'avance ce qu'il va obtenir ». Il ne s'agit pas d'expérimentation aveugle : la démarche scientifique, tout comme celle de l'ingénieur, repose sur la formulation d'hypothèse et sur la modélisation. Mais le rôle de l'outil devient plus important. Dans le monde informatique, on peut prendre trois domaines en exemple : le « *Big Data* », la programmation distribuée du Web ou encore le développement d'interfaces utilisateur pour les applications mobiles. Dans ces trois cas, l'expérience montre que les innovations naissent de multiples expériences et d'un niveau élevé de maîtrise des outils qui n'est

rendu possible que par une pratique assidue. Autrement dit, un enseignement informatique dans ces domaines - qui sont, aujourd'hui, parmi les plus productifs - se doit d'être en pointe sur les outils et la façon de les utiliser - par exemple HTML5 pour citer un exemple. Un bon enseignement informatique est fondé sur l'expérimentation, pour appréhender la dimension technologique, c'est-à-dire la relation entre la technique et les usages.

Mettre les usages en avant consiste à reconnaître que l'informatique n'est pas une science désincarnée. Les usages sont liés à la culture, et il y a forcément une part de subjectivité dans leur étude. En revanche, il faut mettre l'usage en avant dès le début de l'enseignement de l'informatique, dès l'école primaire, puis dans l'ensemble du cursus : collège, lycée, supérieur. D'une part, s'appuyer sur l'usage permet un enseignement plus concret et plus engageant, dans la philosophie mise en avant par « La main à la pâte ». D'autre part, il force dès le départ à considérer le domaine informatique dans une acceptation large, ce qui semble essentiel à notre commission pour former des futurs utilisateurs et concepteurs de systèmes complexes, qui intègre l'informatique mais également de nombreuses autres disciplines. Les outils et applications numériques ne créent de la valeur que par l'interaction avec leurs utilisateurs ; les aspects sensoriels, en particulier la visualisation, font partie intégrante de l'expérience numérique et exigent cette approche pluridisciplinaire, dans la pratique comme dans l'enseignement.

Ce dernier point nous semble fondamental : l'informatique joue un rôle transverse d'intégration. Cette contribution fondamentale à l'activité humaine du 21^e siècle exige que la science informatique ne soit pas restreinte à une vision logicielle et matérielle, mais embrasse une ambition systémique. Ceci s'inscrit dans une progression. L'informatique a toujours eu comme objectif la modélisation et l'automatisation, mais il s'agissait autrefois de fonctions, tandis qu'il s'agit aujourd'hui de systèmes. L'intégration des acteurs humains dans ces systèmes, notamment au moyen des interfaces homme-machine, doit être une des dimensions essentielles de l'enseignement informatique.

4. Informatique : L'école de l'expérimentation

Les deux rapports de l'Académie des Sciences et de « *Informatics Europe & ACM* » insistent sur la différence entre la pratique numérique et l'informatique : « Tous les citoyens doivent recevoir une éducation numérique (*digital literacy*) et informatique (*informatics*) ». L'importance de la technologie que nous venons de souligner dans la section précédente ne signifie pas qu'il faille assimiler l'informatique avec l'usage des outils informatiques, un point clé avec lequel nous sommes évidemment en accord avec les précédents rapports. Ce qu'on apprend avec les outils informatiques est d'une autre nature, d'une applicabilité beaucoup plus vaste. Pratiquer l'informatique est une école de pensée et une école de vie, c'est pour cela qu'il faut commencer tôt, dès le primaire. La question de l'obsolescence des outils, qui se pose différemment à l'école et à l'université, ne doit pas être éludée, mais n'est pas une raison suffisante pour se contenter d'un enseignement conceptuel.

L'informatique en primaire permet de faire de l'explicitation de « petits problèmes pratiques », tels que ranger, trier, ... elle permet également de comprendre et manipuler des concepts tels que les entiers et les opérations élémentaires. L'informatique apprend à décomposer des opérations complexes en opérations simples et à les intégrer dans un tout cohérent. C'est une « école de pensée » dans le sens où elle développe les étapes principales de toute activité scientifique ou manufacturière : formuler, modéliser, développer, tester, valider. Comprendre ces étapes et les pratiquer nous semble une contribution essentielle à l'enseignement, qui commence au primaire mais se poursuit jusqu'aux études supérieures. En particulier, les étapes fondamentales de test et de validation permettent d'introduire les notions d'erreurs, de risque et de qualité, qui

doivent faire partie de la culture générale de nos concitoyens. Il y a un lien direct avec la question de l'acceptabilité sociétale des grands systèmes complexes et de leurs risques associés.

Pratiquer l'informatique est une école pour développer et comprendre l'abstraction. Elle n'est pas la seule discipline qui contribue à développer cette capacité, puisque Henri Poincaré disait : « La mathématique est l'art de donner le même nom à des choses différentes », mais elle le fait de sa façon propre et concrète, qui se prête bien à l'apprentissage par l'action. Les américains insistent beaucoup sur cette forme d'apprentissage « *learning by doing* », qui correspond à notre proverbe ancien « c'est en forgeant qu'on devient forgeron ». Nous pourrions d'ailleurs citer ici Jean Piaget, qui a été parmi les premiers à insister sur les apprentissages par l'action et l'activité sensorimotrice chez les enfants. C'est pour cela qu'il faut favoriser l'expérimentation et la réalisation de projets. L'apprentissage par l'expérience se prête bien à une démarche collective, mettant en valeur la collaboration. Il y a beaucoup à apprendre de la mise au point incrémentale, du cycle d'essais et de détection d'erreurs. La science pédagogique a montré que la pratique est, pour les enfants comme pour les adultes, fondamentale pour assimiler des réalités et des concepts complexes.

Plus généralement, et ceci ne nous semble pas assez souligné dans le rapport de l'Académie des Sciences, l'informatique est une école pour apprendre la systémique. Nous vivons dans une époque de complexité des systèmes, et les élèves comme les citoyens doivent comprendre comment décrire, modéliser et évaluer un système. L'informatique est un outil formidable pour créer et manipuler des systèmes. Pour illustrer ce point, on peut citer le célèbre « jeu de la bière » (*The Beer Distribution Game*), un jeu de rôle informatique développé au MIT pour faire comprendre à des étudiants les principes d'équilibre stochastique dans un réseau de distribution. Il est possible d'enseigner le sujet à partir de la théorie des files d'attente (et c'est même souhaitable), mais la puissance de l'expérimentation grâce aux outils informatiques est attestée par des décennies d'expériences qui permettent aux participants de développer une meilleure connaissance du sujet.

5. Nouvelles formes d'enseignement et informatique

Pour terminer cette note, il nous semble important de souligner la nécessité de remettre en cause de façon continue les méthodes pédagogiques, et d'inventer pour l'informatique, au moment où il est question de définir le programme d'une Agrégation d'informatique, des approches qui renouvellent l'enseignement très conceptuel qui est habituel en France. Ce que nous venons de dire dans les deux précédentes sections est une invitation à concevoir un enseignement plus pratique, ce qui change les modalités de contrôle de connaissance et renforce l'importance des projets et du travail en groupe au détriment des épreuves écrites individuelles.

Ceci nous conduit au sujet fort vaste de l'informatisation de l'enseignement, qui n'est pas le sujet de cette note puisqu'il déborde le cadre de l'informatique, mais qui est fort évidemment connexe. Il faudrait, par exemple, aborder la question des MOOC (cours en lignes ouverts et massifs). L'existence des MOOC va changer les choses en profondeur, puisque leur efficacité est avérée et qu'ils permettent l'accès à des contenus pédagogiques de qualité au plus grand nombre, qu'il s'agisse de zones géographiques ou de catégories socioprofessionnelles. Le MOOC n'est pas un simple « cours filmé en ligne », il construit un réseau social d'étudiants qui s'apprennent les uns aux autres, grâce à un corpus d'exercices d'application et de solutions et explications qui s'enrichissent progressivement grâce à ce réseau. Le succès des MOOC est déjà constaté, on peut prendre l'exemple de la « *Khan Academy* » pour s'en convaincre. Ces cours de

mathématiques font partie de la culture pédagogique aux Etats-Unis. Les professeurs d'université les utilisent en les proposant à leurs élèves pour s'assurer de l'acquisition de concepts et techniques (simples) en mathématiques : ces cours en lignes ont acquis leur place au milieu des références bibliographiques. L'utilisation du MOOC ne remplace pas l'enseignement traditionnel, mais il le modifie. On voit apparaître, par exemple à *Stanford*, une pratique dans laquelle l'enseignement vidéo en ligne correspond à la première étape (les étudiants sont appelés à écouter la conférence en ligne et à réaliser les exercices associés avant de venir en cours) et le cours devient un lieu d'échange et d'approfondissement interactif. La place et le rôle des MOOC font débat ; il ne s'agit pas ici de prendre parti mais de souligner que cette question est connexe avec l'enseignement de l'informatique.

Nous ne pensons pas, au sein de la commission TIC, que ces méthodes d'enseignement « en ligne » soient universelles. Certaines acquisitions se font plus facilement dans le cadre d'une relation incarnée, un dialogue entre l'enseignant et l'élève. En revanche, l'existence de ces techniques nouvelles est une formidable opportunité d'utiliser la ressource rare que constitue le dialogue face-à-face entre l'élève et son professeur pour ce qui produit la plus grande valeur ajoutée et d'utiliser des méthodes alternatives pour le reste. C'est très clairement la voie qu'on choisit les « *Colleges* » et Universités américaines, y compris pour des pragmatiques raisons financières, car le modèle économique américain du « *college* » est menacé par des coûts qui augmentent trop vite par rapport aux moyens des foyers américains.

6. Conclusion

Cette note se veut être un ajout constructif au document de l'Académie des Sciences, avec lequel nous partageons une grande partie des constats et des propositions. Notre ajout porte sur le rôle de la technologie et de la pratique dans l'enseignement de l'informatique. Pour résumer, on peut dire que cette note enrichit le rapport de l'Académie des Sciences en insistant sur l'importance de l'éducation aux pratiques et aux usages numériques.

Nous ne trouvons pas dans la séparation entre « science informatique » et « pratique » une création de valeur, mais plutôt le risque d'un appauvrissement et d'une plus grande difficulté à enseigner précisément les concepts de l'informatique, ceux qui servent à irriguer toutes les formes de l'innovation contemporaine, qu'elle soit scientifique, technique ou sociétale. Une partie des critiques que la « communauté des acteurs du numérique » porte sur l'enseignement informatique actuel touche à la trop grande segmentation et spécialisation des domaines de connaissance. Donner un socle pratique fondé sur les projets et l'apprentissage collaboratif est une façon de répondre à ces objections.

Cette note s'inscrit également dans la continuité de la communication à l'académie des technologies, datée du 29 octobre 2012, intitulée « la technologie, école d'intelligence innovante ». La proposition d'introduire un enseignement de technologie à tous les niveaux de l'enseignement général nous semble la meilleure que l'on puisse faire pour lutter contre la désaffection des jeunes pour la science et la technologie, leur donner le goût de faire et leur ouvrir le chemin de l'innovation.