



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

L'enseignement de l'informatique en France

Il est urgent de ne plus attendre

Rapport de l'Académie des sciences - Mai 2013



Rapport de l'Académie des sciences

L'enseignement de l'informatique en France

Il est urgent de ne plus attendre

MAI 2013

Préambule

Ce rapport sur l'enseignement de l'informatique a été préparé par un groupe de travail de l'Académie des sciences dans le cadre de son Comité sur l'enseignement des sciences. Il a été présenté le 6 mars 2013 au Comité restreint de l'Académie (Comité composé des membres du Bureau de l'Académie, des délégués des sections de l'Académie et de membres élus par l'assemblée plénière) puis, sur avis favorable de celui-ci, le 9 avril 2013 à son Comité secret (assemblée plénière des membres de l'Académie des sciences).

Le rapport traite de la place de l'informatique dans les enseignements primaire et secondaire, ainsi que de la formation de leurs professeurs. Il évoque également brièvement l'enseignement supérieur (classes préparatoires et universités), sujet qui méritera de plus amples développements.

Le groupe de travail est composé d'académiciens, de chercheurs et d'enseignants : Serge Abiteboul (académicien, Inria), Jean-Pierre Archambault (association EPI, Enseignement public & informatique), Christine Balagué (Institut Télécom), Georges-Louis Baron (université René-Descartes, Paris), Gérard Berry (académicien, Collège de France), Gilles Dowek (Inria), Colin de la Higuera (SIF - Société informatique de France - et université de Nantes), Maurice Nivat (académicien), Françoise Tort (École normale supérieure de Cachan), Thierry Viéville (Inria). Gérard Berry en assure la présidence et Gilles Dowek le secrétariat.

Merci aux académiciens Marie-Lise Chanin (CNRS), Jean-Pierre Demailly (université Joseph-Fourier, Grenoble), Pierre Encrenaz (Observatoire de Paris), Jean-Pierre Kahane (université Paris-Sud), Pierre Léna (université Paris-Diderot), Odile Macchi (CNRS) et Alain-Jacques Valleron (université Pierre-et-Marie-Curie, Paris), ainsi qu'à Michèle Artigue (université Paris-Diderot) et Jean-Pierre Raoult (université Paris-Est), pour leurs commentaires et contributions après réception de versions préliminaires du rapport. Il faut toutefois noter que la contribution d'un expert à la réalisation de ce rapport n'entraîne pas nécessairement son adhésion à toutes ses conclusions.

Table des matières

Résumé.....	3
Recommandations.....	5
Décider d’enseigner la science informatique.....	5
Programmes	5
Formation des enseignants.....	6
Contexte et positionnement de ce rapport.....	7
La nature et les impacts de l’informatique.....	10
Les finalités de l’enseignement de l’informatique.....	13
Préparer les citoyens	15
Un contexte favorable.....	16
Quelques principes généraux	17
Esquisse d’un curriculum.....	19
Trois modes d’apprentissage.....	19
L’école maternelle et l’école primaire : la découverte.....	20
Le collège : l’acquisition de l’autonomie	23
Le lycée : consolider les savoirs et le savoir-faire	25
Après le bac : préparer à tous les métiers liés au numérique	26
Le développement professionnel dans tous les métiers	27
La formation et le statut des enseignants	27
L’école	28
Le collège.....	28
Le lycée.....	28
L’enseignement de l’informatique dans le monde.....	30
Aperçu de la situation actuelle en Europe	31
L’exemple du Royaume-Uni	31
L’exemple de l’Allemagne	32
Bref aperçu sur la situation dans le reste du monde	33
Synthèse	33

Résumé

L'impact considérable de l'informatique dans un nombre toujours croissant de domaines de l'industrie, de la communication, des loisirs, de la culture, de la santé, des sciences et de la société en général est universellement reconnu. On parle désormais d'un « monde numérique » au sens large, qui s'appuie sur deux grands leviers, celui des matériels informatiques et celui de la science informatique.

L'informatique

- Le développement du numérique est intimement lié aux progrès de l'informatique, qui est devenue une science autonome avec ses formes de pensée spécifiques. Si les objets et applications numériques évoluent à allure soutenue, la science informatique reste fondée sur un ensemble stable et homogène de concepts et de savoirs.
- Nombre des progrès technologiques les plus marquantes de ces dernières années sont des produits directs de l'informatique : moteurs de recherche et traitement de très grandes masses de données, réseaux à très large échelle, informatique sûre embarquée dans les objets, etc.
- De par l'universalité de son objet, la science informatique interagit de façon étroite avec pratiquement toutes les autres sciences. Elle ne sert plus seulement d'auxiliaire de calcul, mais apporte des façons de penser nouvelles.

La situation actuelle

- L'informatique est d'une importance toujours grandissante en termes de création de richesses et d'emplois dans le monde, que ce soit directement dans l'industrie informatique ou dans des domaines grands utilisateurs comme l'aéronautique, l'automobile et les télécommunications.
- L'Europe et la France en particulier accusent un important retard conceptuel et industriel dans le domaine par rapport aux pays les plus dynamiques, comme les Etats-Unis et certains pays d'Asie. Ce retard est en partie lié aux carences de l'enseignement de l'informatique, resté longtemps au point mort ou réduit à l'apprentissage des seuls usages de produits de base. Un enseignement aussi limité ne saurait permettre de faire basculer notre pays de l'état de consommateur de ce qui est fait ailleurs à celui de créateur du monde de demain.
- La prise de conscience de la nécessité d'un enseignement d'informatique en tant que discipline scientifique s'accroît : spécialité Informatiques et sciences du numérique (ISN) en terminales scientifiques à la rentrée 2012, généralisée à toutes les terminales à la rentrée 2014, etc. La feuille de route du numérique présentée par le gouvernement en mars 2013 insiste sur l'apprentissage des usages et sur le rôle du numérique en pédagogie, mais déclare aussi explicitement l'importance d'un enseignement de science informatique. On assiste à une prise de conscience semblable dans d'autres pays européens.
- Les circonstances sont très favorables à l'introduction d'un véritable enseignement de l'informatique : pression de l'industrie en manque de personnel bien formé en informatique, attirance naturelle des élèves pour le numérique qui fait partie de leur environnement de tous les jours, possibilité de décliner les exemples d'applications dans des domaines très variés et attirants, excellente adaptation à l'enseignement en ligne qui se développe partout, développement d'une meilleure compréhension de ce qu'un curriculum doit inclure dans ce domaine avec participation des chercheurs.

L'enseignement de l'informatique

- L'enseignement doit s'adresser d'une part à tous les citoyens, pour qu'ils comprennent les mécanismes et façons de penser du monde numérique qui les entoure et dont ils dépendent.
- Il doit s'adresser d'autre part de façon plus approfondie à tous ceux qui auront à créer, adapter ou simplement bien utiliser des applications ou objets de nature informatique, quels que soient leurs domaines d'activité.
- Un soin particulier doit être apporté à le rendre attirant pour les deux genres, le milieu informatique restant encore trop majoritairement masculin.
- Il peut et doit être commencé dès le primaire, par une sensibilisation aux notions d'information et d'algorithme, possible à partir d'exemples très variés dans le style de La main à la pâte. Il doit être approfondi au collège et au lycée.
- On pourra y distinguer trois phases principales :
 1. La *sensibilisation*, principalement au primaire, qui peut se faire de façon complémentaire en utilisant des ordinateurs ou de façon « débranchée » ; un matériel didactique abondant et de qualité est d'ores et déjà disponible.
 2. *L'acquisition de l'autonomie*, qui doit commencer au collège et approfondir la structuration de données et l'algorithme. Une initiation à la programmation est un point de passage obligé d'activités créatrices, et donc d'autonomie.
 3. Le *perfectionnement*, qui doit se faire principalement au lycée, avec un approfondissement accru des notions de base et des expérimentations les plus variées possibles.

La formation des enseignants

- La formation des enseignants est une priorité absolue. La feuille de route du gouvernement propose une formation massive d'enseignants aux usages du numérique, mais ne précise encore rien sur leur formation à l'informatique. Ce chantier doit être défini et entrepris au plus tôt.
- Pour les professeurs des écoles, amenés à sensibiliser les élèves à la science informatique, l'enseignement des concepts et des exemples de base devrait prendre la forme d'un module dédié dans les ESPE (Écoles supérieures du professorat et de l'éducation) nouvellement créées.
- Pour les professeurs de Collège et Lycée, l'Académie recommande fortement des qualifications et des modes de recrutement alignés sur ceux des autres disciplines de l'enseignement secondaire, eux-mêmes susceptibles d'évoluer comme l'Académie l'a déjà recommandé.
- Tous les enseignants devront être formés à l'impact de l'informatique dans l'évolution de leur discipline : la simulation dans les sciences expérimentales, l'usage de bases de données en histoire ou géographie, l'analyse de textes en littérature, la traduction automatique, la création artistique, etc.

Recommandations

Pour toutes ces recommandations, le mot informatique désigne les concepts, la science et la technique de l'informatique, comme expliqué dans le rapport complet, et ne se limite donc pas à la simple utilisation de matériels et logiciels.

Décider d'enseigner la science informatique

La décision essentielle à prendre est de mettre en place un enseignement de science informatique depuis le primaire jusqu'au lycée, orienté vers la compréhension et la maîtrise de l'informatique, et dépassant donc largement les seuls usages des matériels et logiciels. Cette mise en place ne doit plus être différée.

Pour la réaliser, il sera souhaitable de procéder, sur chacun des points, à une expérimentation d'échelle suffisante et de durée suffisamment brève, accompagnée solidement et dont l'extension fera l'objet d'une stratégie pluri-annuelle.

Programmes

Primaire :

- Dans les programmes de l'école primaire, inclure une initiation aux concepts de l'informatique. Mêler dès ce niveau des activités branchées et débranchées.

Collège :

- Introduire un véritable enseignement d'informatique, qui ne soit pas noyé dans les autres enseignements scientifiques et techniques, mais développe des coopérations avec ceux-ci dans une volonté d'interdisciplinarité.

Lycée :

- Proposer un enseignement obligatoire d'informatique en seconde.
- Rendre obligatoire l'enseignement d'informatique en première et en terminale S, sans exclure une option de spécialité plus approfondie en terminale.
- Proposer un enseignement facultatif d'informatique en première et terminale L et ES.
- Continuer et développer l'enseignement d'informatique dans les séries techniques et professionnelles.
- Étudier l'équilibrage horaire des disciplines requis par l'introduction de l'informatique, avec d'une part un horaire spécifique d'informatique, et d'autre part la prise en compte de contenus informatiques au sein des autres disciplines et de leurs programmes.

Un équilibrage inventif des disciplines ne peut être du ressort de ce seul rapport, mais il ne doit pas servir d'alibi à un nouveau retard à l'introduction de l'informatique, qui serait fortement préjudiciable à notre pays et aussi à notre système éducatif dans son ensemble.

Supérieur :

- Pour les CPGE (classes préparatoires aux grandes écoles), augmenter le volume horaire dédié à l'enseignement d'informatique. Le volume actuellement proposé de deux heures en première année et une heure en seconde année ne saurait suffire à couvrir les besoins culturels et professionnels des étudiants de ces classes
- Développer des cours spécifiques de culture informatique pour tous les étudiants des cycles

licence et maîtrise, en particulier ceux qui se destinent à l'enseignement.

Formation des enseignants

- Inclure l'informatique dans la formation initiale des professeurs des écoles, et former les professeurs en activité par un développement professionnel volontariste afin que tous puissent initier leurs élèves à cette discipline.
- Au collège aller vers un enseignement d'informatique spécifique, assuré par des professeurs ayant une exigence de niveau et de diplôme identique à celle des autres sciences au Collège.
- Recruter des enseignants de discipline informatique au lycée ayant une exigence de niveau et de diplôme identique à celle des autres sciences au Lycée.
- Concevoir une intégration de l'informatique dans les enseignements disciplinaires traditionnels, aussi bien dans les humanités que dans les sciences.

Contexte et positionnement de ce rapport

Ce rapport poursuit le travail spécifique effectué par des chercheurs, des enseignants et des inspecteurs généraux depuis 2008 sur l'enseignement de la science informatique, date à laquelle la réintroduction de la science informatique au lycée est devenue un objectif explicite du Ministère de l'Éducation nationale. Ce travail collaboratif sur les principes et le programme a débuté dans le cadre de la réforme de l'éducation de 2008, et s'est continué ensuite lorsqu'a été décidé, peu après, le retour de la science informatique au lycée à la rentrée 2012, sous la forme de l'enseignement de spécialité *Informatique et sciences du numérique* en terminale scientifique. Ce rapport poursuit également les travaux de l'Académie des sciences, qui avait déjà émis des avis partiels sur l'introduction de l'informatique dans l'enseignement, en particulier dans des rapports de 2007¹ et 2010². Le texte du Socle commun de connaissances de 2006 incluait aussi dans son pilier 3 des paragraphes sur la compréhension du traitement électronique et numérique de l'information, sur proposition de l'Académie des sciences

Note : ce rapport a été rédigé avant la publication de la feuille de route du gouvernement définie au séminaire gouvernemental sur le numérique de mars 2013. Cette feuille de route insiste sur l'importance croissante de l'industrie du numérique et de la place du numérique dans un nombre grandissant d'activités et dans la création d'emplois. Ce rapport insiste aussi sur l'importance d'une vraie familiarisation de l'ensemble de la population avec l'informatique, ainsi que sur la nécessité de former beaucoup plus de professionnels compétents dans le domaine. Il indique enfin qu'une réflexion sur la place que doit prendre la science informatique, à tous les niveaux d'enseignement, sera prochainement engagée.

Un monde numérique créé par les sciences et techniques informatiques

Le développement de l'informatique et la numérisation systématique d'informations de toutes sortes bouleversent l'ensemble de la société et de ses activités, conduisant à ce qu'on appelle au sens large « le monde numérique ». La spécificité des activités et industries numériques est claire : elles manipulent des informations immatérielles, très différentes des objets matériels. Un programme ou une donnée informatique ne pèsent rien, se transportent quasiment sans coût, et se dupliquent exactement à volonté. Mais, dans notre pays, tout le monde ne reconnaît pas encore trois vérités que l'Académie des sciences tient à affirmer avec force et que ce rapport va commenter en détail :

- 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.
- Si elle est indispensable et contribue à réduire la fracture numérique, l'éducation aux pratiques numériques par les seuls usages des logiciels, ordinateurs et réseaux, n'a pas de réel apport en termes d'éducation à la science informatique.

Notons que le gouvernement reconnaît désormais explicitement que négliger l'importance de l'informatique dans l'enseignement mettrait en danger l'avenir de notre pays. Il traduit cette

¹ Rapport de l'Académie des sciences sur la formation des professeurs à l'enseignement des sciences, <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/avis131107.pdf>.

² Rapport de l'Académie des sciences sur la réforme des Lycées, 2010, <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/avis251110.pdf>.

reconnaissance dans le projet de loi pour la refondation de l'École présenté en Conseil des ministres le 23 janvier 2013, qui confie à l'École une nouvelle mission : celle « d'éduquer au numérique ». Mais il ne la détaille bien sûr pas, et ne précise donc pas la différence fondamentale entre usage, science et technique. La feuille de route du numérique présentée ensuite par le gouvernement en mars 2013 mentionne explicitement la mise en place d'une réflexion sur la place de la science informatique dans l'enseignement. Cette réflexion nous semble effectivement essentielle, et c'est à elle que sera consacré le rapport.

Précisions de vocabulaire

Il nous faut d'abord préciser le vocabulaire, car de nouveaux sigles apparaissent constamment pour désigner des activités liées à l'informatique : TIC, NTIC, STIC, etc³. Le mot « électronique » reste utilisé dans « courrier électronique », « commerce électronique », etc. Le mot « numérique » est clairement dans l'air du temps, s'imposant dans un nombre de domaines croissant. Dans ce rapport, nous adopterons les définitions suivantes :

- Le mot « informatique » désignera spécifiquement la science et la technique du traitement de l'information, et, par extension, l'industrie directement dédiée à ces sujets.
- L'adjectif « numérique » peut être accolé à toute activité fondée sur la numérisation et le traitement de l'information : photographie numérique, son numérique, édition numérique, sciences numériques, art numérique, etc.

On parle ainsi de « monde numérique » pour exprimer le passage d'un nombre toujours croissant d'activités à la numérisation de l'information et « d'économie numérique » pour toutes les activités économiques liées au monde numérique, le raccourci « le numérique » rassemblant toutes les activités auxquelles on peut accoler l'adjectif numérique. Puisque toute information numérisée ne peut être traitée que grâce à l'informatique, l'informatique est le moteur conceptuel et technique du monde numérique.

Par rapport à l'anglais, notre acception du mot « informatique » recouvre *Computer Science, Information Technology* » et ce que l'on entend souvent par *Informatics*, alors que l'adjectif numérique correspond à *digital*, par exemple dans la correspondance entre « monde numérique » et *digital age*.

L'informatique au cœur du numérique

La science informatique est l'objet d'un travail de recherche scientifique considérable dans le monde entier, qui va de la recherche abstraite sur l'algorithmique et les structures fondamentales du calcul à la conception de matériels et de logiciels innovants et utilisés partout. C'est exclusivement à l'enseignement de la science et de la technique informatiques à travers la scolarité que sera consacré ce rapport. Notre objectif est de montrer qu'un enseignement de l'informatique commençant beaucoup plus tôt est devenu nécessaire pour tous, bien sûr à des niveaux différents selon qu'on parle de l'éducation de l'ingénieur informaticien ou du citoyen.

L'enseignement général de l'informatique devra d'abord donner à tous les citoyens les clés du monde du futur, qui sera encore bien plus numérique et donc informatisé que ne l'est le monde actuel, afin qu'ils le comprennent et puissent participer en conscience à ses choix et à son évolution plutôt que de le subir en se contentant de consommer ce qui est fait et décidé ailleurs. Il faudra aussi que cet enseignement les prépare aux métiers nouveaux et riches d'emploi engendrés par l'informatique. Aux ingénieurs et scientifiques, il faudra qu'il apporte les connaissances et les

³ Technologies de l'information et de la communication, Nouvelles technologies de l'information et de la communication, et Sciences et technologies de l'information et de la communication.

pratiques scientifiques et techniques adéquates pour qu'ils fassent le meilleur usage de tous les outils informatiques qu'ils utiliseront et pour qu'ils puissent adapter ces outils à leurs métiers propres, voire créer de nouveaux outils. À des degrés divers, il faudra donc éduquer tous ceux qui seront en interaction constante et riche avec des systèmes informatisés, quels que soient leur métier et leur discipline, littéraire, scientifique, artistique ou autre. Les curricula correspondants devront être élaborés en fonction de la diversité de ces interactions et avec les acteurs concernés, mais sans jamais oublier l'unité profonde des concepts : *l'informatique n'est pas différente selon les disciplines ni réductible à ces disciplines*, même si elle se décline différemment ici ou là. Il faudra donc enseigner harmonieusement à la fois ses concepts généraux et ses déclinaisons particulières.

Un enseignement de l'informatique, au-delà des usages numériques

Ce que le rapport propose :

- Une discussion sur la nature et les impacts de l'informatique.
- Une proposition de finalités de l'enseignement de l'informatique.
- Une esquisse de curriculum pour le premier et le second degré.
- Des éléments sur la formation et le statut des enseignants d'école, collège et lycée.
- Un regard sur l'enseignement de l'informatique dans le monde.
- Des recommandations à l'horizon 2020.

Ce que le rapport ne couvre pas : il ne prétend pas s'étendre à l'ensemble des questions relatives au monde numérique, ni aux évolutions de la pédagogie rendues possibles par les nouveaux outils numériques dans toutes les matières. Il ne prétend pas analyser en détail l'enseignement supérieur.

Ce que cet enseignement ne doit pas être : certains continuent à penser qu'un enseignement scientifique de l'informatique n'est pas nécessaire, qu'une familiarisation de base avec ses usages suffit, et, qu'en cas de besoin, l'informatique s'apprend « sur le tas ». Cette opinion conduit à un contresens dangereux.

Certes, une familiarisation avec les usages est indispensable ; elle s'avère simple et naturelle pour les jeunes du XXI^e siècle, pour qui l'informatique n'est en rien nouvelle puisqu'ils sont nés avec. Le B2I⁴ y participe. Mais il est incontestable que l'informatique est devenue bien plus qu'un pourvoyeur d'outils à savoir utiliser sans trop penser. Au contraire, elle est devenue un immense espace de création scientifique, technique, industrielle et commerciale, ainsi qu'un des domaines les plus créateurs d'emplois directs ou indirects dans le monde, comme attesté par le rapport Lévy-Jouyet⁵, nombre de rapports du CIGREF⁶, de l'OCDE⁷, etc., ainsi que par la feuille de route du gouvernement du 28 février 2013⁸. La richesse correspondante est construite par ceux qui créent et font avancer le domaine, pas par ceux qui ne font qu'en consommer les fruits. Si on peut peut-être devenir un consommateur numérique averti en baignant dans la société numérique, la création repose nécessairement sur de vraies compétences en informatique.

Un enjeu majeur : le logiciel

Au XX^e siècle, de nombreux programmes utiles et novateurs ont été réalisés par des amateurs avertis, quelquefois autodidactes, ce qui a participé au mythe de l'informatique que l'on peut développer dans un garage. Mais les applications créatrices de valeur dont nous parlerons dans la

⁴ Brevet informatique et internet

⁵ <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/064000880/0000.pdf>

⁶ Club informatique des grandes entreprises françaises

⁷ Organisation de coopération et de développement

⁸ http://www.gouvernement.fr/sites/default/files/fichiers_joints/feuille_de_route_du_gouvernement_sur_le_numerique.pdf

suite sont bien plus ambitieuses et complexes ; elles sont créées par de solides équipes de gens formés et outillés, que ce soit dans l'industrie ou dans la société pour le développement de logiciels libres.

Notons que la France se présentait elle-même dans les années 1980 comme un grand acteur industriel de l'informatique, en particulier pour le logiciel. C'est loin d'être resté le cas, même si la recherche française est restée de haut niveau mondial, et même si la France et l'Europe sont restées leaders dans des niches importantes comme l'informatique embarquée dans les objets. La France reste compétitive en termes de services informatiques (SSII), mais est faible dans l'édition de logiciels, où une seule société française figure parmi les 100 premières entreprises mondiales. Au moment où la reconstruction industrielle est à l'ordre du jour, mais surtout centrée sur les entreprises en difficulté, il est indispensable de constater la faiblesse dommageable de notre industrie par rapport à l'extraordinaire expansion mondiale du domaine, ainsi que le nombre élevé d'entreprises informatiques françaises qui deviennent étrangères pour cause de succès, ce qui n'est pas vraiment le meilleur signe possible de santé et d'indépendance industrielles pour l'avenir de notre pays. Nous pensons que notre déclin actuel dans un sujet aussi fondamental pour l'avenir est largement dû à une reconnaissance tardive et limitée de la discipline dans les grandes écoles, dans l'enseignement secondaire, et dans la société française en général. L'opinion était autrefois assez répandue que l'informatique n'était pas une science et ne devait donc pas être enseignée, voire que c'était une mode qui allait passer.

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 situation peut être inversée en mettant en place un vrai enseignement d'informatique en tant que science et pas seulement usage, conforme au haut niveau traditionnel de l'enseignement scientifique en France, ainsi qu'à la place de la science dès l'école primaire, progressivement restaurée depuis 1996 par l'action de l'Académie (voir *La main à la pâte*).

Le problème de la reconnaissance de la nécessité d'un vrai enseignement de l'informatique n'est pas limité à notre pays. Il est de plus en plus débattu, avec des arguments similaires à ceux qui seront développés ici, et beaucoup de pays ont déjà lancé de nouvelles initiatives sur le sujet. De façon notable, le Royaume-Uni a décidé d'introduire la science informatique au Baccalauréat à égalité avec les autres sciences⁹ ; voir la partie de ce rapport sur l'informatique dans le monde pour d'autres expériences.

Ce rapport participe à cette prise de conscience internationale. Une originalité de notre comité est probablement la participation d'enseignants et de chercheurs très impliqués dans les questions d'enseignement et de diffusion scientifique et ayant déjà participé à la définition de curricula informatiques et à la rédaction des manuels associés.

La nature et les impacts de l'informatique

Une science et une technique omniprésentes

En ce début de XXI^e siècle, l'informatique bouleverse de très nombreux domaines de l'activité humaine, de la transmission du savoir à la gestion des entreprises, de la création artistique à l'administration des états. Si l'informatique des années 1980 concernait essentiellement le calcul scientifique, la gestion des entreprises et les télécommunications, l'informatique actuelle concerne toutes les formes de communication entre les personnes, les loisirs, la plupart des pans de

⁹ <http://www.bbc.co.uk/news/education-21261442>

l'industrie, de la conception des objets jusqu'à leur fabrication, le commerce, les transports, une grande partie des activités de service et, tout autant, les sciences, les sciences humaines, la santé et l'aide à la dépendance. Chacun peut par exemple constater l'impact d'Internet sur la communication entre les personnes, l'accès aux œuvres de l'esprit et la transmission du savoir. Le fait qu'une quantité gigantesque de données soit disponibles en ligne et analysables par algorithmes transforme notre rapport à la connaissance. Il faut noter qu'Internet est depuis ses débuts un réseau résolument informatique fondé sur le protocole IP, très différent des technologies utilisées classiquement en télécommunications, qui n'auraient pas pu passer à cette échelle.

Jusqu'à une période récente, on accédait à Internet à l'aide d'ordinateurs de bureau ou portables. Mais les ordinateurs du XXI^e siècle changent de forme, se diversifient et s'intègrent partout. Les téléphones et les tablettes connectés à Internet remplacent rapidement les ordinateurs classiques, associant à une mobilité sans limites des interfaces tactiles, gestuelles ou sonores d'un nouveau genre, et incorporant une multitude d'applications nouvelles, utilisant par exemple la géolocalisation. Les ordinateurs embarqués dans les avions, les trains, les voitures et les objets quotidiens sont encore plus nombreux. Ces ordinateurs invisibles sont reliés à des capteurs et actionneurs de plus en plus variés. Une voiture, par exemple, contient une quantité impressionnante de matériels informatiques et de logiciels pour assister la conduite, assurer le freinage, réduire la consommation, etc. Des fonctions naguère mécaniques, comme le contrôle moteur, la direction et la suspension sont aujourd'hui informatisées. La différence entre un modèle de voiture et un autre tient souvent à l'informatique embarquée. Bientôt, les voitures seront connectées en permanence à Internet et prendront directement des informations de la route, de la ville et de leurs nombreux capteurs, pour assurer une meilleure sûreté et une plus grande fluidité du trafic. Comme celle des avions, la conception des voitures est entièrement assistée par ordinateur, en utilisant des outils de modélisation géométrique et de simulation. Cela explique que les constructeurs automobiles embauchent aujourd'hui autant d'informaticiens que de mécaniciens.

Sciences devenues numériques et science informatique

Toutes les sciences de la nature adoptent désormais l'informatique comme un élément fondamental de la recherche, par exemple en concevant de nouveaux capteurs et instruments d'observation et d'expérimentation qui mêlent physique et informatique à un niveau scientifique et technique très élevé : télescopes, accélérateurs de particules, appareils d'imagerie médicale, séquenceurs ADN. Mais l'informatique dans les sciences devient bien plus qu'un outil de calcul. Elle conduit à une nouvelle forme de pensée, appelée « pensée informatique » (*computational thinking* en anglais). Les algorithmes y sont placés au même niveau que les équations. Cette pensée informatique s'applique aussi aux sciences du vivant, où les équations font parfois défaut. Ainsi, les bio-informaticiens modélisent le vivant avec des outils algorithmiques, ce qui leur permet de mieux le décrire, et parfois de le simuler pour mieux le comprendre. En médecine, on commence à modéliser le fonctionnement dynamique des organes. Les opérations chirurgicales se font sous réalité augmentée, et des prothèses intelligentes pour l'audition, la vue et le mouvement se développent. Selon des cognitivistes expérimentaux, notre cerveau a certains aspects algorithmiques : une fois un but fixé, il cherche les moyens de l'atteindre, réunit l'information et les matériaux nécessaires, puis effectue une suite d'actions élémentaires physiques ou mentales pour atteindre ce but.

Les relations entre mathématiques et informatique sont nombreuses et profondes. Comme la physique, l'informatique utilise beaucoup de mathématiques et en développe pour ses besoins propres : logique, combinatoire, théorie des nombres, statistiques, etc. Réciproquement, les mathématiciens utilisent la visualisation informatique en géométrie ou en systèmes dynamiques. Ils ont aussi démontré des théorèmes importants en utilisant de gros calculs informatiques : théorème des 4 couleurs, théorème de Hales sur l'agencement des sphères, etc. Pour certains sujets, l'imbrication mathématiques / informatique est plus directe. Les mathématiciens appliqués et les informaticiens collaborent à la réalisation d'outils de calcul numérique et de calcul formel utilisés

dans un nombre considérable d'applications scientifiques et industrielles ; ces outils posent des problèmes difficiles de représentation et de qualité d'approximation des quantités manipulées. Enfin, de nouvelles logiques et architectures de preuves formelles ont été appliquées aussi bien à la preuve de grands théorèmes mathématiques qu'à la vérification formelle récente de circuits, de compilateurs et de systèmes d'exploitation.

Les humanités sont aussi concernées : les philologues, les historiens et les juristes utilisent des ordinateurs pour archiver et indexer des corpus de grande taille, mais aussi pour assembler des fragments de statues ou de manuscrits afin de les reconstituer. L'informatique gagne les arts, avec de nouveaux modes de création et de diffusion de l'écrit et de l'image, la génération des calculs informatiques en architecture, et de nouvelles techniques de fabrication directe d'objets complexes comme l'impression en trois dimensions. Les musiciens utilisent des logiciels pour inventer de nouveaux instruments numériques et se doter de nouveaux outils de composition. Enfin, les sportifs utilisent couramment une instrumentation informatique complexe pour augmenter leurs performances. Dans ces domaines aussi, on assiste à la pénétration de la pensée informatique.

L'analyse automatique des très grands volumes de données, née avec les bases de données et les moteurs de recherche, trouve des applications dans des domaines aussi divers que la biologie du génome, l'épidémiologie, l'étude du climat, le journalisme, l'analyse de clientèle, etc.

L'informatique est enfin un grand fournisseur d'emplois directs ou indirects dans le monde, avec l'expansion constante d'un tissu continu allant des start-ups, aux sociétés de services, aux grands empires industriels, et une expansion particulièrement forte en Amérique du Nord et en Asie. La France et l'Europe sont restées actives mais leurs rôles se sont quelque peu limités, sauf dans des secteurs spécialisés, comme les systèmes embarqués, les télécommunications, la conception assistée par ordinateur ou les jeux vidéo. Les idées absolument nouvelles comme les moteurs de recherche, les réseaux sociaux ou les « smartphones » ne sont pas nées en Europe, où la créativité est en retrait par rapport aux USA et à l'Asie.

Une science unifiée : l'informatique

La très grande variété des impacts de l'informatique que nous venons de décrire ne signifie pas qu'il existe plusieurs informatiques. Bien au contraire, c'est l'absence de spécialisation des ordinateurs qui est à l'origine de leur omniprésence. Les informaticiens les appellent d'ailleurs « machines universelles ». Même si l'informatique est un domaine où la création est rapide et où les produits deviennent rapidement obsolètes, cette création et ces produits s'appuient sur des connaissances fondamentales et des savoir-faire stables. En particulier, la science informatique repose sur de grands concepts unificateurs. Ainsi, le récent programme de la spécialité *Informatique et sciences du numérique*¹⁰, en terminale scientifique, s'articule autour de quatre concepts et de leurs interactions : *algorithme, langage, information et machine*. Ces concepts préexistaient à l'informatique : le mot algorithme est par exemple issu du nom du grand mathématicien persan Al-Khawarizmi, aussi inventeur de l'algèbre, et la notion d'algorithme a été utilisée en mathématiques à toutes les époques. Mais l'informatique a systématisé et considérablement étendu ces concepts.

Pour expliquer la généralité des algorithmes, rappelons que de nombreuses questions qui se posent à nous commencent par l'adverbe interrogatif « Comment » : Comment fait-on une addition ? Comment reconnaît-on un visage ? Comment sait-on si une phrase est correcte ? Comment fait-on pour marcher ? Comment connaît-on sa position géographique ? La réponse à de telles questions est souvent un algorithme, qu'il soit effectué par un humain ou par une machine : un algorithme de l'addition enseigné à l'école ou réalisé par un circuit, un algorithme de reconnaissance de formes,

¹⁰ Programme disponible à l'adresse

http://www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=57572

un algorithme d'analyse grammaticale, un algorithme neuronal ou robotique pour la marche, la lecture d'une carte ou l'algorithme du GPS qui fait appel aux relativités restreinte et générale pour l'orientation. En informatique, la conception d'algorithmes s'appuie sur un nombre relativement restreint de grands principes, même si les algorithmes connus et étudiés ne se comptent plus.

Un algorithme est avant tout un objet conceptuel, comme un nombre. Pour se concrétiser, un nombre doit être écrit dans un langage précis, par exemple la numération décimale à position, peut-être au sein d'une phrase écrite en langue naturelle. En informatique, les programmes qui incarnent les algorithmes doivent être uniformément formels et précis car ils doivent être compris à la fois par des hommes et des machines, ces dernières ne sachant qu'être infiniment stupides. Les langages informatiques dans lesquels on écrit les programmes sont donc très différents des langues naturelles, car plus simples, plus spécialisés et moins ambigus. Mais eux aussi reposent sur un nombre restreint de concepts, qui peuvent cependant s'articuler de nombreuses manières, d'où la multiplicité des langages informatiques actuels.

A la différence du discours humain pour lequel l'auditeur est censé comprendre les sous-entendus, la concrétisation d'un algorithme en programme est une activité délicate car susceptible de provoquer de nombreux *bugs* qui conduisent à des comportements erratiques et potentiellement dangereux. L'art de la programmation est d'écrire les programmes d'une façon scientifiquement organisée, afin qu'ils soient justes et que leur justesse soit effectivement vérifiable. On peut d'ailleurs dire que le point de départ de la science informatique, plus que l'apparition des premières machines à calculer, a été l'apparition des premiers langages de programmation de haut niveau que sont Fortran, Lisp, et ALGOL : ces langages ont permis l'accumulation de programmes et leur échange, la réutilisation d'un programme par d'autres indépendamment des machines utilisées et la transformation des programmes eux-mêmes en objets d'étude.

Le concept d'information, ou de donnée, est central dans notre manière de penser. Dans la vie de tous les jours, nous baignons dans un océan d'information. Nous devons apprendre à structurer, trier et vérifier ces informations, à nous interroger sur leurs origines, à les mettre à jour, et à en extraire des connaissances. Nous devons distinguer les informations dont nous disposons de celles qui nous manquent mais que nous pouvons chercher à acquérir ou sur lesquelles nous pouvons spéculer. L'informatique simplifie ces problèmes en fournissant de nouveaux moyens de collecte, de représentation, de structuration et de recherche de l'information à très grande échelle. Mais elle exacerbe aussi les problèmes de maîtrise de cette information.

Il y a enfin une continuité dans l'histoire des machines manipulant l'information, qui s'inscrit dans l'histoire générale des machines, et qui a conduit des calculateurs mécaniques aux machines à calculer électriques puis aux ordinateurs électroniques modernes. L'uniformité des concepts s'applique aussi à ces ordinateurs : qu'ils soient gros ou petits, les circuits des machines sont tous conçus et fabriqués suivant les mêmes principes, en utilisant des outils logiciels de conception assistée par ordinateur et de simulation.

Ce caractère fondamental des concepts de l'informatique a mené certains à proposer un slogan pour les enfants de ce siècle, en ajoutant un mot à celui déjà proposé par l'Académie des sciences :

Apprendre à lire, écrire, compter, raisonner et programmer

Les finalités de l'enseignement de l'informatique

L'enseignement de l'informatique doit permettre à tous les élèves – y compris ceux qui ne deviendront pas informaticiens – de comprendre le monde numérique qui les entoure, de le maîtriser et d'accéder aux nouvelles formes de pensée qui accompagnent le développement de l'informatique. Il doit être au double service des personnes dans leur vie professionnelle et dans leur citoyenneté.

Former les professionnel-le-s de tous les métiers

Trois catégories de métiers sont fortement concernées par l'informatique : d'abord ceux de l'industrie informatique, qui est un grand pourvoyeur d'emplois qualifiés ; ensuite les métiers d'informaticien au sein d'autres structures – industries, administrations, etc. – où se créent en permanence de nouvelles applications haut de gamme ; enfin l'ensemble des autres métiers scientifiques, techniques, commerciaux, juridiques, etc., où le contact avec des objets informatiques sophistiqués est constant.

En informatique, la France et l'Europe ont une recherche de très grande qualité et, comme nous l'avons déjà souligné, restent leaders dans quelques domaines majeurs. Il reste cependant reconnu que le tissu industriel français et européen manque de vigueur, avec un nombre restreint de leaders mondiaux et des rachats fréquents des jeunes entreprises françaises les plus dynamiques par des entreprises étrangères. Cela ne s'explique pas uniquement par des facteurs industriels et financiers, mais aussi par des facteurs culturels, dont le premier est un manque de compréhension des enjeux de l'industrie informatique par nos élites et nos ingénieurs, qui n'ont souvent pas bénéficié d'une formation à l'informatique satisfaisante.

Pour ce qui est de l'informatique dans l'industrie, et pas seulement dans l'industrie informatique proprement dite, les industriels tirent régulièrement le signal d'alarme dans de nombreux pays occidentaux quant au manque d'informaticiens bien formés. On peut s'étonner du fait qu'il y a aussi des informaticiens au chômage. Mais il s'agit souvent de programmeurs « à l'ancienne », formés sur le tas, et qui ont du mal à s'adapter aux évolutions de leur métier faute d'une compréhension des concepts fondamentaux. Cela montre d'autant plus que le système éducatif ne peut rester sourd à la demande d'une véritable formation en informatique permettant de s'adapter à ces évolutions rapides, et c'est une raison supplémentaire pour commencer la formation plus tôt.

Pour les autres métiers en contact permanent avec l'informatique, ingénieurs, managers, commerciaux, architectes, etc., la construction d'un vrai « bon sens informatique » est indispensable et ne peut également résulter que d'une vraie formation. Pour reprendre les mots de Louis Becq dans l'article *Contre l'illettrisme numérique en entreprise*¹¹ : « Sans doute l'industrie a-t-elle besoin de davantage d'informaticiens, toujours mieux formés, toujours plus professionnels [...] Mais l'industrie n'a pas moins besoin de personnels ayant acquis et assimilé une culture générale en informatique leur permettant non seulement de dialoguer efficacement avec leurs collègues informaticiens, mais aussi de prendre le recul nécessaire face à leur outil de travail afin d'être des vecteurs actifs de son amélioration et de sa performance. » Par exemple, les juristes sont de plus en plus souvent amenés à écrire et appliquer des lois qui concernent des questions liées à l'informatique. L'expérience récente montre que leur difficulté à comprendre et suivre le sujet mène à des retards permanents dans l'action, voire à des contresens, comme on en a vus sur questions d'identification, de vote électronique ou de protection de la vie privée : croyance répandue mais erronée qu'une adresse IP (dans sa version 4 actuelle) identifie un ordinateur, confiance *a priori* dans le vote électronique certainement pas partagée par les spécialistes de la sécurité informatique, etc.

Quel que soit le métier que l'on exerce, il faut abandonner l'idée classique de se limiter à utiliser des applications dont la réalisation est sous-traitée à des informaticiens. Pour prendre deux derniers exemples, un scientifique qui imagine une expérience a besoin de traiter des données, mais pas

¹¹ http://www.lemonde.fr/sciences/reactions/2012/12/06/contre-l-illettrisme-numerique-en-entreprise_1801258_1650684.html

seulement en adaptant des logiciels existants. La manière même dont ces données seront traitées fait partie de la conception de l'expérience. Le jeune qui utilise un téléphone n'a pas envie d'attendre d'avoir terminé ses études en informatique pour développer et mettre en ligne les applications qu'il invente. Tous ces acteurs doivent gagner leur autonomie dans le monde numérique.

Préparer les citoyens

L'alphabétisation numérique pour tous

On réduit souvent la « fracture numérique » au clivage qui sépare ceux qui possèdent un ordinateur et un accès à Internet de ceux qui n'en possèdent pas. Cette vision centrée sur l'équipement est réductrice et peut conduire à des solutions inadéquates du point de vue de l'éducation. Par exemple, offrir un ordinateur à chaque élève entrant au collège ou équiper chaque salle de classe d'un tableau blanc interactif, comme cela se fait dans nombre de départements et régions, n'est qu'une façon inefficace de se dédouaner d'un problème réel si ce cadeau n'est pas associé à un accompagnement éducatif.

Devenus adultes, les élèves seront en réalité le plus souvent confrontés, non à une pénurie d'ordinateurs, mais à de nombreuses transformations induites par l'informatique dans de multiples domaines qui les concerneront directement. La véritable fracture sera entre ceux qui posséderont les outils intellectuels pour comprendre ces transformations et ceux qui ne les posséderont pas : un chômeur doit utiliser un ordinateur pour s'inscrire à Pôle emploi. Il lui sera certainement plus facile d'en trouver un que d'apprendre à s'en servir.

Les transformations dues à l'informatique portent un grand message d'espoir : davantage de transparence, plus de proximité, plus de possibilités pour chacun de s'exprimer, plus d'accès à l'information et à l'éducation. Elles peuvent cependant aussi porter atteinte à nos libertés. Elles demandent donc à être acceptées et contrôlées par les citoyens et la société. Ce contrôle ne pourra se faire sans une compréhension minimale des concepts mis en jeu, qui est loin d'être actuellement répandue et ne pourra résulter que d'une véritable éducation. Une étude approfondie des arguments utilisés lors de débats récents témoigne de la nécessité d'une telle éducation : confiance ou défiance largement irrationnelles vis-à-vis du vote électronique dont les qualités et défauts sont mal évalués, inquiétudes vis-à-vis des nouveaux modèles de diffusion des œuvres de l'esprit, souvent vues sous l'angle exclusif du pillage, absence de contrôle de la diffusion des données personnelles, souvent collectées à l'insu des personnes elles-mêmes, difficulté pour les institutions de mesurer l'impact de la possibilité pour chaque citoyen de s'exprimer sur tous les sujets, impact des écrans et des divers objets informatisés sur la santé physique et psychique des jeunes¹², etc.

Réduire les fractures numériques de genre et de catégorie sociale

Il est essentiel que tous les citoyennes et citoyens soient égaux dans leur compréhension de l'informatique et du monde numérique. Alors que les femmes étaient très présentes aux débuts de l'informatique et jusqu'à la génération formée dans les années quatre-vingt, on constate aujourd'hui une forte inégalité de genre dans les cursus d'informatique à l'Université et dans les Grandes Écoles, avec comme résultat une proportion actuellement de l'ordre de 15% dans les métiers de l'informatique¹³. Cette inégalité ne semble malheureusement pas diminuer avec le temps. Par

¹² Voir l'avis publié par l'Académie des sciences JF Bach et al (2013) L'Enfant et les écrans, Le Pommier, Paris. En ligne sur <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/avis0113.htm> et le module pédagogique de *La main à la pâte* « Les écrans, le cerveau et l'enfant ».

¹³ Marie-Paule Cani, "Filles et garçons face à l'informatique", dans les actes du colloque "Filles et garçons en sciences et techniques, un enjeu européen et planétaire" co-organisé par l'association Femmes et Sciences, l'Association pour la Parité dans les Métiers Scientifiques et Techniques (APMST), et la Mission pour la

ailleurs, nous savons que la différenciation sociale entre les filles et les garçons augmente avec l'âge, en particulier dans leur goût des matières scientifiques et que la résorption de ce type d'inégalité ne peut se faire sans un effort éducatif précoce et permanent. C'est pour nous une raison essentielle pour enseigner l'informatique dès l'école.

De même, nous devons éviter de laisser se creuser une fracture numérique entre les enfants des classes favorisées qui sont pleinement exposés au monde numérique et qui peuvent s'ils le souhaitent se former en informatique, et les autres qui n'ont pas les mêmes chances. C'est aussi pourquoi il est indispensable que notre système éducatif enseigne l'informatique, et ce dès l'école, pour que l'accès à cette science ne devienne pas un privilège lié au milieu social.

Un contexte favorable

L'unité conceptuelle de l'informatique et la très grande variété de ses applications fournissent un cadre favorable à la constitution d'un enseignement à la fois conceptuellement bien articulé et déclinable dans des applications pratiques très variées, pour les exercices et les réalisations des élèves. Les domaines d'application peuvent être liés aux autres sciences, aux langues, aux arts, à l'histoire, à la géographie, à la gestion des entreprises, à l'administration des états, etc. La richesse du champ applicatif rend possible le choix de domaines d'application adaptés aux séries et options des élèves, proches de leurs intérêts. Du point de vue informatique, les fabrications de tables de conjugaison ou de calendriers sont des problèmes très similaires. On peut indifféremment enseigner la notion de boucles imbriquées en s'appuyant sur l'un et l'autre, mais la réception à ces deux exemples est très variable en fonction des centres d'intérêt des élèves auxquels on s'adresse.

Un autre facteur favorable à un enseignement de qualité intéressant les élèves est que beaucoup d'entre eux sont maintenant très familiers avec les usages et la logique de l'informatique. Pour les enfants du XXI^e siècle, l'informatique est tout sauf une « nouvelle technologie », puisqu'ils n'ont jamais connu le monde sans elle. L'ordinateur n'est pas plus étrange que la mer, la montagne, le vélo ou le chat. Au contraire, ce sont certains des objets du XX^e siècle qui sont devenus étranges : il faudra bientôt que les professeurs d'histoire expliquent à leurs élèves ce qu'est une cabine téléphonique, une machine à écrire ou un disque vinyle, voire un disque compact. De plus, l'informatique est souvent associée à des aspects agréables de leur vie : jeu, échange avec les autres, musique, photo, vidéo, etc. Cette familiarité peut être utilisée comme moyen pour mener progressivement les élèves les plus jeunes des usages aux concepts. Un bon indice d'appétence des élèves pour l'informatique est la réussite du concours « Castor informatique »¹⁴ qui s'adresse aux élèves de collège et lycée.

En informatique, les activités scientifiques et techniques sont souvent étroitement mêlées. Dans le cadre d'une application même très pratique, on aura souvent besoin d'un programme de tri, qu'il faudra concevoir puis écrire. L'enseignant pourra alors conduire les élèves à analyser l'algorithme qu'ils ont programmé, à s'interroger sur sa complexité, et étudier une borne inférieure absolue à la complexité des algorithmes de tri. Ce chemin qui mène progressivement du concret vers l'abstrait est l'essence de l'enseignement de l'informatique. Un tel enseignement peut jouer un rôle véritablement positif pour développer le goût des élèves pour les sciences et les techniques, que ce soit pour ceux que rebute un enseignement des sciences qui ignore trop à quoi elles peuvent servir, ou, à l'inverse, pour ceux qui s'ennuient devant un enseignement des techniques qui tourne trop volontiers le dos à l'abstraction.

Un dernier élément contextuel favorable est l'émergence de cours en ligne ouverts et massifs,

place des femmes au CNRS. Grenoble, 15 nov 2008.

¹⁴ <http://castor-informatique.fr/>

massive open online course (MOOC). Même s'ils constituent un investissement financier important, ils offrent un nouveau levier, à forte économie d'échelle, et permettent de faire émerger des communautés coopératives et de développer une pédagogie ouverte. Ce type d'enseignement semble particulièrement bien adapté à l'informatique. Ce rapport reviendra sur les cours en ligne ouverts et massifs quand il traitera de la formation permanente et de la formation des enseignants. Il faut cependant noter que c'est un élément en fort développement qu'il faudra prendre en compte au fil du temps au niveau de l'enseignement de l'informatique en général.

Quelques principes généraux

Avant d'aborder une esquisse de curriculum, détaillons quelques principes généraux qui doivent gouverner l'enseignement de l'informatique, quel qu'en soit le niveau.

Équilibrer théorie et expérimentation. Sur le plan des objets qu'elle étudie, l'informatique se rapproche des mathématiques, car l'une et l'autre s'intéressent à des objets abstraits. Sur le plan de la méthode, elle se rapproche aussi des sciences de la nature, car elle s'appuie sur des objets matériels – les ordinateurs – pour mettre en œuvre des algorithmes abstraits. Elle permet ainsi des réalisations concrètes en prise directe avec la réalité : analyser un texte ou une image, dessiner l'aile d'un avion pour optimiser l'écoulement de l'air, composer et jouer une pièce de musique, etc. Il faut transmettre aux élèves ce double ancrage en les initiant aux aspects les plus abstraits de la discipline, tout en leur montrant comment ils se déclinent naturellement dans des applications concrètes, proches de leurs intérêts personnels et de leurs projets professionnels, donc en liant théorie et expérimentation dans l'esprit par exemple de *La main à la pâte*.

Relier l'informatique au monde réel et aux autres disciplines. Une façon commode d'enseigner un peu d'informatique est de se limiter à des exemples mathématiques simples. Mais les calculs mathématiques ne forment qu'une partie des applications de l'informatique et ils ne sont susceptibles d'intéresser que ceux que les mathématiques intéressent déjà. La souplesse de l'informatique permet de choisir des exemples bien plus variés : données textuelles, images sons et vidéos, robots et dispositifs numériques quotidiens, simulations physiques, etc. Tous ces domaines sont également formateurs, et la pensée informatique y est de même essence.

Garantir la pérennité des contenus. Une caractéristique de l'informatique est le contraste entre la stabilité des concepts de base et l'évolution rapide des objets eux-mêmes. Par exemple, beaucoup d'étudiants ont jadis appris le langage Lisp, aujourd'hui quasiment abandonné. En revanche, les notions qui sont à la base de Lisp – l'appel de fonction, la récursivité, les structures de données arborescentes, etc. – sont des notions fondamentales qui sont évidemment restées d'actualité. Ainsi, il importe de formuler les objectifs d'un enseignement de la programmation en termes de concepts et non de langages. Même si nous enseignons la programmation en utilisant un langage particulier, ce qui semble inévitable, il faut que cet enseignement soit suffisamment général et souple pour qu'il permette aux élèves d'apprendre ensuite d'autres langages par eux-mêmes. Il faut donc systématiquement rechercher l'enseignement des fondements et des concepts, au lieu de former les élèves aux détails d'outils vite périmés, faute de quoi les élèves se périmeront aussi vite que les objets enseignés.

Réduire les fractures numériques. Pour réduire ces inégalités, nous proposons un enseignement précoce et une approche diversifiée de la discipline qui mêle abstraction et prise sur le monde réel, en particulier éloignée de l'image masculine d'un être peu communicatif, collé à sa machine.

Dépassez les seuls usages et la formation « sur le tas ». Contrairement à une idée encore trop répandue, un enseignement de l'informatique ne peut en aucune façon se résumer à celui de ses usages – traitement de texte, tableur, navigateur, etc. – pour la même raison qu'un enseignement de la thermodynamique ne peut se limiter à l'apprentissage de la lecture d'un thermomètre et d'un baromètre, ou celui de la mécanique à la validation du permis de conduire. Un tel enseignement

fabriquerait des utilisateurs qui subiraient la technique, non des acteurs du monde de demain. De même, répétons qu'un apprentissage « sur le tas », non fondé sur une approche graduelle des concepts, n'a de sens que pour une utilisation d'outils conçus par d'autres. Un vrai enseignement est nécessaire pour concevoir les objets, services et sciences du futur, car tous les métiers créateurs de valeur conduiront à des innovations informatiques réelles et pas uniquement à une consommation d'outils standards. La formation d'un architecte, par exemple, ne doit pas se limiter à lui apprendre à utiliser les logiciels de conception architecturale utilisés aujourd'hui, mais lui donner les compétences qui lui permettront d'inventer ceux de demain, à l'instar de Frank Gehry, dont les nouveaux bâtiments ne peuvent plus être conçus sans ordinateurs. La pensée informatique est devenue centrale dans leur conception.

Esquisse d'un curriculum

À tous les âges et surtout à l'école

L'apprentissage de l'informatique se décline différemment selon que l'on s'adresse à des écoliers, des collégiens, des lycéens ou des étudiants, mais la question du curriculum doit être abordée de manière globale, car le contenu d'un enseignement au lycée, par exemple, dépend du niveau des élèves à leur entrée en seconde, c'est-à-dire de ce qu'ils ont appris au collège. Nous disposons par ce rapport d'une occasion relativement unique d'adresser cette globalité.

Trois modes d'apprentissage

On peut distinguer trois modes d'apprentissage de l'informatique, qui diffèrent par leur finalité : la découverte, l'acquisition de l'autonomie et la maîtrise des concepts.

La découverte. Une manière de faire découvrir l'informatique aux élèves est de leur apprendre à utiliser des objets informatiques et de les amener, par cet apprentissage, à se poser des questions et à y chercher des réponses. Beaucoup d'élèves, par exemple, savent envoyer un courrier électronique, mais ils ne cherchent pas nécessairement à savoir comment un tel courrier arrive dans la boîte aux lettres de son destinataire. L'apprentissage de l'utilisation d'un logiciel de courrier électronique est pourtant une occasion de les amener à se poser cette question et à y chercher une réponse. Cette question peut être introduite de manière attirante, comme une énigme. Les élèves peuvent y chercher une réponse collectivement. On peut la replacer dans son cadre historique : le problème de la transmission de message est ancien ; il se posait déjà, par exemple, dans l'empire de Gengis Khan qui s'étendait de l'Asie Mineure à la mer de Chine. Cette question permet d'introduire la notion de réseau – les ordinateurs sont reliés entre eux par des câbles électriques ou par radio – et de routage – un message doit trouver son chemin dans le labyrinthe que constituent ces milliards d'ordinateurs reliés entre eux.

Cette initiation à l'informatique passe aussi par la découverte des concepts fondamentaux d'algorithme, de langage, d'information, etc., sans nécessairement utiliser un ordinateur pour cela.

L'acquisition de l'autonomie. Comprendre l'informatique ne consiste pas uniquement à savoir utiliser des objets conçus par d'autres, mais aussi à savoir en concevoir soi-même.

Cette acquisition de l'autonomie demande d'apprendre les rudiments des langages et méthodes de programmation. Le but n'est bien entendu pas de former des programmeurs, mais de donner aux élèves l'occasion de mettre la main à la pâte, afin de comprendre de quels ingrédients les programmes sont faits, ce qui est une clé indispensable pour comprendre le monde dans lequel ils vivent. Le but est de leur apprendre à dépasser le stade de simple spectateur pour devenir des participants à part entière du monde numérique.

L'approfondissement des concepts. Une fois cette autonomie acquise, les élèves peuvent véritablement entrer de plain-pied dans l'univers de la science informatique. Ils peuvent comprendre comment sont conçus les langages de programmation, comment fonctionne la cryptographie à clé publique, comment est organisé un système de bases de données, comment fonctionne un ordinateur ou un réseau, pourquoi certains problèmes ne peuvent pas être résolus par un algorithme ou pourquoi d'autres demandent un temps de calcul plus ou moins long. Par exemple, interroger un index de plusieurs téraoctets ne demande que quelques dixièmes de secondes, mais décrypter un court message sans en connaître la clé demande des siècles.

Ce découpage de l'apprentissage de l'informatique n'est pas exclusivement chronologique. Par exemple, les élèves pourront commencer très tôt à écrire de petits programmes, tout en ne se perfectionnant que plus tard par l'apprentissage et la compréhension de différents langages informatiques. Mais il reste raisonnable de dire que le premier mode d'enseignement doit dominer à l'école maternelle et à l'école primaire, le deuxième au collège et le troisième au lycée et dans l'enseignement supérieur.

L'école maternelle et l'école primaire : la découverte

Avec des langages de programmation adaptés à leur âge ou en mode débranché

L'enseignement de l'informatique à l'école est parfois limité à l'utilisation d'un ordinateur. Mais cette vision dénature une discipline scientifique qui donne un rôle essentiel à l'abstraction. « Faire de l'informatique » ne consiste pas à passer des heures devant un écran. L'initiation à l'informatique à l'école maternelle et à l'école primaire doit donc équilibrer des activités utilisant un ordinateur et des activités « débranchées »¹⁵. L'usage de l'informatique par les enfants, comme la fascination qu'elle exerce sur eux, peut permettre de les initier au fonctionnement mystérieux de leur cerveau, comme le propose un module construit par *La main à la pâte* pour l'école primaire¹⁶.

Avec un ordinateur. Les activités s'effectuant avec un ordinateur peuvent débuter avec l'enseignement des logiciels les plus courants : logiciel de courrier électronique, navigateur et moteur de recherche, traitement de texte, tableur, etc. Comme nous l'avons dit, cet enseignement doit être un prétexte pour s'interroger sur le fonctionnement de ces objets, interrogation qui mène à son tour à découvrir certains concepts de l'informatique. Nous avons déjà évoqué le cas du courrier électronique. Le Web est un autre exemple. Si l'acheminement du contenu d'une page d'un serveur Web jusqu'à l'ordinateur de l'école suit les mêmes principes que l'acheminement d'un courrier électronique, une nouvelle question apparaît : celle de l'origine des informations auxquelles on accède. Qui parle ? Où ces informations sont-elles enregistrées ? Comment sont-elles identifiées ? Il est possible d'aborder aussi la recherche des pages contenant certains mots clés et la notion d'index : on soulève ainsi un coin du mystère des moteurs de recherche. Les élèves peuvent même concevoir leur propre page Web et devenir ainsi des participants actifs du Web, ce qui est le meilleur moyen de comprendre que n'importe qui peut dire n'importe quoi dans une page web, et de s'interroger sur la pertinence de l'information que l'on y trouve. Le Web peut aussi être replacé dans l'histoire, à travers la question de la différence entre une page Web, un parchemin et une page imprimée. Par exemple, comme une encyclopédie traditionnelle, une encyclopédie en ligne peut contenir aussi bien des informations sur les dinosaures que des informations spécialisées sur la typologie des prises électriques dans le monde, que la contrainte du nombre de page aurait éliminées d'une encyclopédie traditionnelle. S'il fait partie de l'apprentissage d'un écolier du cours moyen de comprendre la différence entre une encyclopédie, un manuel technique, un guide de voyage, etc. il fait désormais aussi partie de cet enseignement de comprendre qu'une encyclopédie en ligne est tout cela à la fois.

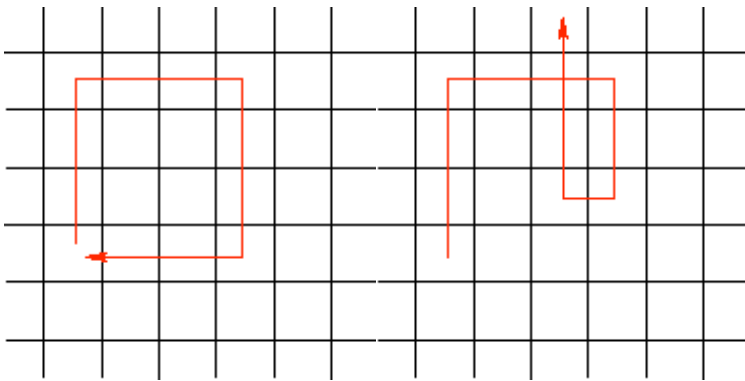
En mode débranché. À côté de ces activités, qui partent de l'utilisation d'un ordinateur pour poser des questions, les activités « débranchées », c'est-à-dire qui ne nécessitent pas l'utilisation d'un ordinateur, permettent d'aborder l'informatique à un niveau plus conceptuel. Elles visent à initier les élèves à trois notions fondamentales de l'informatique : celles de langage, d'information et d'algorithme, notions que l'on retrouve évidemment dans les activités « branchées ». Elles mettent

¹⁵ Voir aussi l'Avis de l'Académie des sciences [L'enfant et les écrans](#).

¹⁶ B Descamps-Latscha et al (2013) *Les écrans, le cerveau... et l'enfant*, Le Pommier, Paris, module pédagogique de *La main à la pâte* conçu en appui à l'avis de l'Académie des sciences (*op.cit. supra*).

en outre en évidence le fait que les concepts de l'informatique s'appliquent au monde réel tout autant qu'au monde virtuel contenu dans les ordinateurs.

Un langage formel se distingue d'une langue naturelle par sa spécialisation, son caractère artificiel, le caractère limité de son lexique et la simplicité des règles qui régissent sa grammaire. Un exemple simple est le langage formé de quatre mots : « nord », « sud », « est » et « ouest » et d'une construction, la séquence, qui permet de former des suites de tels mots. Ce langage permet d'indiquer un chemin à suivre sur une grille carrée, par exemple sur le carrelage du préau d'une école. L'expression « nord, nord, nord, est, est, est, sud, sud, sud, ouest, ouest, ouest » indique, par exemple, à un enfant de se déplacer de trois carreaux vers le nord, puis de trois carreaux vers l'est, puis de trois carreaux vers le sud et enfin de trois carreaux vers l'ouest, dessinant ainsi un carré sur le sol.



Ce même mouvement peut être exprimé dans un autre langage : « avancer, avancer, avancer, tourner-à-droite, avancer, avancer, avancer, tourner-à-droite, avancer, avancer, avancer, tourner-à-droite, avancer, avancer, avancer, tourner-à-droite » qui ne comprend que trois mots : « avancer », « tourner-à-droite » et « tourner à gauche », composés par une opération de séquence.

Des activités autour de la notion de langage consistent par exemple à interpréter les instructions données par un autre élève ou à trouver la phrase qui commande d'aller d'un point du préau à un autre. On peut ensuite passer à des exercices plus élaborés, comme la traduction d'une expression d'un langage dans un autre – par exemple une expression formée dans le premier des langages présentés ci-avant dans le second –, la mise en évidence de la redondance d'un langage – par exemple, « tourner-à-gauche » pourrait être remplacé par une séquence de trois « tourner-à-droite ». Il est aussi possible d'évoquer dans une telle activité la notion de *bug*. Une petite erreur dans une instruction exprimée dans le second langage, par exemple, un « tourner-à-droite » de trop change complètement le dessin et envoie n'importe où, comme sur la figure de droite ci-dessus.

Ce type d'activité permet d'aider les élèves à comprendre, dans un cadre très simplifié, quelques-uns des traits essentiels de la langue écrite : son caractère conventionnel, la nécessité de règles et la correspondance entre les mots et les actions. Elle leur permet aussi de comprendre qu'il est possible de calculer non avec des nombres, mais avec des mots.

Parler aux petits d'information, de langage et d'algorithme, avec leurs mots et à partir du quotidien

La notion d'information est aussi une formidable clé pour entrer dans l'informatique. La première notion à transmettre est que toute forme d'information peut être représentée numériquement, c'est-à-dire par une suite de symboles, par exemple des 0 et des 1. Les images, les sons, les textes, les nombres ont tous un reflet numérique, un codage, qui permet de mémoriser cette information, de la transmettre, de la reproduire à l'infini. Il est possible dès l'école primaire d'introduire l'atome d'information, le bit, et de se demander de combien de bits on a besoin pour exprimer une

information. Pour savoir si une lumière est allumée ou éteinte, un bit suffit, alors que pour exprimer la couleur des cheveux d'une personne – bruns, châains, blonds ou roux – deux bits sont nécessaires. Apparaît naturellement ici la notion de quantité d'information contenue dans un message, qui est, en première approximation, sa taille. Toutefois, la redondance complique un peu cette notion : si un message exprime qu'un animal est un insecte, en ajoutant qu'il a six pattes, on augmente la taille du message mais pas l'information transmise,

Une troisième notion qu'un tel enseignement « débranché » peut aborder est la notion d'algorithme. Un algorithme est essentiellement une manière de résoudre un problème en effectuant des opérations élémentaires « sans réfléchir ». Les algorithmes qui transforment des symboles, addition, soustraction, déclinaisons, conjugaisons, etc. sont aussi anciens que ces symboles, c'est-à-dire que l'écriture. Mais l'humanité a bien entendu utilisé des algorithmes avant même la naissance de l'écriture, pour préparer des aliments, tisser des étoffes, tailler des silex, etc. L'initiation à la notion d'algorithme peut commencer par l'identification d'algorithmes simples que les enfants utilisent tous les jours : pour s'habiller il faut mettre son tee-shirt avant son pull ; pour faire une tarte aux pommes, il faut mettre les pommes avant la cuisson de la pâte, mais pour une tarte aux fraises, il faut mettre les fraises après. Une deuxième étape est une interrogation sur les constructions qui permettent d'exprimer un algorithme comme

- une séquence : faire ceci puis cela ;
- un test : si telle condition est vérifiée, alors faire ceci, sinon faire cela ;
- une boucle : faire ceci trois fois, ou alors jusqu'à ce que telle condition soit vérifiée.

Une fois ces bases posées, on peut aborder la notion d'algorithme parallèle : pour faire une tarte aux pommes, un pâtissier peut couper les pommes pendant qu'un autre prépare la pâte brisée ; en revanche, pour faire un nœud de chaise, il est difficile à deux matelots de se partager le travail. Cette réflexion peut se poursuivre, même à un niveau élémentaire, sur la différence entre une définition *algorithmique* et une définition *non algorithmique* : définir la différence $n - p$ de deux nombres comme le nombre de cailloux restants si on en met n dans un sac et que l'on en retire p , nous donne un algorithme pour calculer cette différence de deux nombres. En revanche, définir la différence de deux nombres n et p comme le nombre qu'il faut ajouter à p pour obtenir n ne nous donne aucun moyen direct de le faire.

Les objectifs de la découverte des notions de langage, d'information et d'algorithme sont de deux ordres. Le premier est bien entendu la préparation d'un enseignement d'informatique plus avancé au collège et au lycée, ce qui fait de cette découverte la première pierre d'un enseignement qui s'étale sur toute la scolarité d'un élève. Mais, il est important de comprendre son utilité plus globalement pour la formation des jeunes enfants. Les apprentissages précoces des enfants sont pour beaucoup des apprentissages linguistiques et algorithmiques. Les enfants apprennent des règles qui leur permettent de résoudre des problèmes, dont celui de communiquer avec leur entourage. De même que les règles d'un jeu ne sont pas des contraintes imposées par une autorité, mais la condition même de l'existence du jeu – on ne peut pas jouer à la marelle sans respecter les règles qui autorisent ou interdisent de poser le pied à certains endroits – de même, les règles de grammaire, les règles qui permettent d'effectuer une addition ou de trouver son chemin dans une ville ne sont pas des contraintes imposées par une autorité, mais les composants essentiels des méthodes qui permettent de s'exprimer, de calculer, de s'orienter. Ici, ce sont les règles de grammaire qui définissent un langage, les règles de codages qui permettent d'exprimer des informations, les règles exprimées par les algorithmes qui permettent de résoudre un problème. Cette initiation à l'informatique est donc une occasion pour les enfants de commencer à découvrir à un niveau élémentaire ce pan de notre culture, notamment écrite, fait de signes et de règles pour les manipuler.

On peut aussi proposer quelques activités « débranchées » autour de la notion de machine, par exemple en montrant aux élèves combien il est difficile pour eux de se comporter comme des robots et d'où vient cette difficulté. Il est aussi souhaitable d'attirer l'attention des élèves sur quelques

éléments clés de l'histoire des machines. L'humanité a d'abord fabriqué des outils, c'est-à-dire des objets qui demandent un certain apprentissage pour être utilisés. Ensuite elle a fabriqué des machines munies d'un moteur capables d'exécuter certaines opérations de manière autonome, ce qui a parfois demandé de paramétrer ces machines pour qu'elles effectuent une tâche ou une autre. Par exemple, les métiers à tisser peuvent être paramétrés pour tisser un motif ou un autre. Puis, ont été fabriquées des machines à traiter de l'information, capables de manipuler des symboles. Par exemple, une machine spéciale a été construite aux États-Unis pour dépouiller les résultats du recensement de 1890. Mais ce qui distingue radicalement les ordinateurs de ces machines est leur universalité, c'est-à-dire la possibilité pour un ordinateur d'exécuter un algorithme arbitraire : un ordinateur est tous les ordinateurs.

Le collège : l'acquisition de l'autonomie

Au collège, articuler science et technique

Une particularité de l'informatique est qu'elle est à la fois une science et une technique : son but est à la fois construire des connaissances et de construire des objets. Ces objets sont soit concrets, par exemple les ordinateurs, soit abstraits, par exemple les programmes. En cela, l'informatique annonce peut-être de nouvelles relations entre sciences et techniques au XXI^e siècle. Si la construction de connaissances dominait à l'école maternelle et à l'école primaire, la construction d'objets, en particulier de programmes, nous semble devoir dominer l'enseignement au collège. Écrire soi-même des programmes est en effet une étape essentielle pour devenir soi-même un acteur, et cesser d'utiliser uniquement des objets construits par d'autres. C'est aussi une étape essentielle pour comprendre de quoi les programmes sont faits et aller vers une maîtrise des principaux concepts de l'informatique, dont on découvre de nombreux aspects en programmant.

En informatique, parce que certains de ses objets sont abstraits, il est possible de construire des objets avec beaucoup moins de moyens que dans d'autres domaines techniques, comme l'aéronautique ou même l'électronique. Cela permet d'accorder une place beaucoup plus importante aux activités pratiques que dans d'autres disciplines.

Maîtriser le numérique par la découverte de la programmation

On commence à apprendre à programmer en apprenant les rudiments d'un langage de programmation, limités par exemple aux notions d'affectation, de séquence, de test, de boucle et de tableau, sans nécessairement introduire de notions plus avancées comme les fonctions ou l'allocation dynamique. Mais apprendre à programmer demande aussi d'apprendre un savoir-faire qui permet de passer d'une description de ce que doit faire un programme, par exemple imprimer un calendrier, à une idée de la manière de le faire, par exemple en utilisant deux boucles imbriquées. Cela demande aussi d'apprendre à mettre au point ses programmes, qui contiennent souvent des *bugs*.

Là où des formes d'enseignement plus traditionnelles privilégient une suite d'exercices courts, effectués individuellement et en même temps par tous les élèves, l'enseignement de la programmation privilégie des exercices qui se déroulent sur des temps plus longs, plusieurs semaines, et en petits groupes, typiquement de deux élèves, travaillant sur des exercices différents. Ces exercices sont souvent appelés des « projets ». Une partie importante de la tâche demandée aux élèves est, de plus, de définir en partie eux-mêmes le sujet de leur projet.

Cette activité de programmation est donc l'occasion de développer au collège une forme d'enseignement partiellement par projet, dont l'idée remonte à John Dewey, est en place dans l'EIST (Enseignement intégré de sciences et technologies au Collège) et dans *La main à la pâte*, et qui peut être vue comme une initiation aux méthodes de la recherche.

Dans un tel enseignement par projet, les enseignants ne doivent pas rester muets, car les élèves ont une probabilité très faible de découvrir par eux-mêmes les connaissances que l'humanité a mis des

siècles à construire. L'enseignant doit donc guider les élèves, répondre à leurs questions et les accompagner dans leur recherche, sans brider leur créativité. Il est aussi possible de demander aux élèves de lire le chapitre d'un livre, avant de commencer leur projet ou de chercher des ressources en ligne.

Malgré ses qualités cet enseignement par projet n'est pas suffisant, car les connaissances ainsi transmises peuvent être trop atomisées. Le lien entre les différentes connaissances transmises peut parfois manquer. Il est essentiel de trouver un équilibre entre l'enseignement par projet et le cours magistral qui construit une pensée structurée.

L'apprentissage de la programmation permet de découvrir les rudiments de la pensée informatique. Dès que l'on apprend à programmer, on comprend en effet que certains problèmes, comme vérifier la présence d'un visage dans une image, qui semblent simples à résoudre, sont très difficiles à programmer, contrairement à d'autres, comme vérifier la présence de la lettre « a » dans un mot. Cette prise de conscience est une première étape qui mène à se demander comment notre cerveau est capable de reconnaître un visage dans une image. Une nouvelle signification de l'adverbe interrogatif « Comment » émerge : la réponse à la question « Comment notre cerveau fait-il pour reconnaître un visage ? » est un algorithme, sans doute programmé par l'évolution, et que nous ne connaissons encore que très partiellement.

Le collège est aussi l'occasion de découvrir ou d'approfondir d'autres aspects de l'informatique. Tout d'abord, si certains systèmes informatiques sont autonomes, par exemple un ordinateur de bureau, d'autres sont utilisés au sein de systèmes plus complexes, avions, trains, voitures, etc., qui articulent des composants mécaniques avec des composants informatiques. L'interface entre les ordinateurs et les systèmes mécaniques qu'ils contrôlent se fait par des capteurs et des actionneurs, qui sont eux-mêmes des machines. C'est un sujet riche, puisqu'il mêle des aspects matériels et des aspects algorithmiques, car des algorithmes sont nécessaires pour traduire une valeur analogique en une valeur numérique dans un capteur ou une valeur numérique en une valeur analogique dans un actionneur. D'autres algorithmes sont indispensables pour contrôler le système en agissant sur les actionneurs en fonction des valeurs captées. Dès le collège, il est possible de faire programmer par les élèves un petit robot, par exemple une voiture, pour lui faire suivre une ligne blanche : quand la voiture va trop à droite, le programme doit tourner le volant à gauche, quand elle va trop à gauche, il doit le tourner à droite. Ce type de travail les sensibilise à des problèmes comme la conversion analogique-numérique et la commande avec rétroaction en boucle fermée, qui ne pourront être envisagés en profondeur qu'au lycée.

Le collège est aussi le lieu où peuvent être abordés les réseaux, et en particulier les notions d'adressage et de routage, de manière « débranchée », c'est-à-dire sans utiliser un ordinateur. Alors qu'à l'école primaire, il était simplement possible de s'interroger sur la manière dont un paquet trouve son chemin sur un réseau et de donner des réponses schématiques, il devient possible au collège d'introduire les notions de routeur, de table de routage et des algorithmes de routage et de mise à jour des tables de routage. Cette initiation à la notion de réseau est bien entendu un moment privilégié pour introduire des notions de sécurité, de vie privée ou de propriété que leur développement induit.

Nous avons mentionné les modifications profondes que l'informatique apportait à notre société. C'est au collège que les élèves peuvent commencer à réfléchir à ces modifications. Par exemple, les adolescents savent très tôt télécharger des pièces de musique. Au-delà de la question de la légalité de ces pratiques, il est possible de les mener à s'interroger sur la raison pour laquelle cette question de la légalité se pose pour un fichier mp3, mais non pour un disque vinyle ou même un disque compact. La réponse à cette question peut les mener à comprendre que la non-rivalité est un aspect essentiel des biens immatériels : la copie étant immédiate et parfaite, le fait de posséder une information n'interdit pas aux autres de posséder la même. L'évolution des pratiques, mais aussi des normes et même du concept de propriété privée est déterminé par l'évolution des propriétés techniques des objets échangés.

Le lycée : consolider les savoirs et le savoir-faire

L'informatique est pour toutes et tous les élèves de toutes les filières

Depuis l'école primaire, les élèves auront découvert les notions au cœur de l'informatique : les notions de machine – ordinateur, réseau, robot, etc. –, d'algorithme, de langage, en particulier de programmation, et d'information. L'enseignement au lycée est l'occasion de prendre du recul par rapport à chacune de ces notions et surtout de comprendre la manière dont elles s'articulent.

La notion de langage, par exemple, était abordée au collège, essentiellement à travers l'activité de la programmation. Il devient possible au lycée d'introduire des constructions plus avancées comme les notions de fonction, de récursivité, d'allocation dynamique, de type de données, d'objet ou de parallélisme. Mais il devient aussi possible de commencer à inventer soi-même de petits langages – dans le style du langage « nord », « sud », « est », « ouest » introduit à l'école maternelle – et à écrire soi-même des interpréteurs pour de tels langages simples. C'est aussi le moment de comprendre la pluralité des langages utilisés dans un même système informatique, par exemple, le fait qu'un programme écrit dans un langage évolué est traduit dans un langage machine pour être exécuté par une machine. C'est enfin un moment privilégié pour introduire les notions de code source et de code compilé, si importantes pour comprendre des aspects techniques allant de l'optimisation du temps de réponse d'un programme jusqu'aux questions juridiques sur les licences logicielles.

La notion d'information peut s'aborder sous deux angles : celui de son codage et celui de sa structuration. Le codage est l'ensemble des méthodes qui permettent aux ordinateurs de manipuler des nombres, des textes, des images, des sons, etc., alors qu'ils ne connaissent de manière primitive que des 0 et des 1. Cette idée de codage inclut également les méthodes qui permettent de compresser les informations, de corriger les erreurs de transmission et de chiffrer les informations pour les protéger. La structuration de l'information est l'ensemble des méthodes associées au codage de l'information complexe, depuis les systèmes de fichiers jusqu'aux bases de données et au Web, qui permettent de gérer par ordinateur des quantités astronomiques de données.

La notion de machine peut s'aborder au lycée d'une manière plus analytique qu'au collège en insistant sur la pluralité des descriptions d'un même objet en fonction de son échelle, en allant du plus concret au plus abstrait : échelles du transistor, de la porte logique, du processeur, de l'ordinateur, du réseau local, d'Internet, etc. C'est à ce niveau qu'on peut aussi aborder la programmation distribuée, par exemple dans l'architecture client / serveur du Web et des applications de téléphones portables.

La notion d'algorithme enfin s'aborde pour elle-même en insistant sur la différence subtile entre algorithme et programme. C'est au lycée que les élèves peuvent comprendre qu'un algorithme peut être l'objet d'une étude résolument abstraite en ce qu'elle ne met pas en jeu son incarnation dans un langage particulier ni son exécution sur une machine particulière, mais en même temps très concrète en ce qu'on peut considérer les ressources qu'il exige par exemple en temps et en espace.

Le lycée est aussi un lieu de plus grande spécialisation pour les élèves. En fonction de leurs choix, il est nécessaire d'axer l'enseignement d'informatique sur leurs centres d'intérêt. Les fondements de l'informatique sont les mêmes dans toutes les sections. Mais on peut jouer sur les illustrations choisies, les applications de l'informatique considérées et les projets pour les adapter aux préoccupations premières des élèves. En première et en terminale L, par exemple, les questions de traitement de la langue et du texte peuvent prendre une place centrale. Depuis des algorithmes simples pour mettre un mot au pluriel – y compris les mots « cheval », « chacal », « souris », etc. – jusqu'aux algorithmes d'analyse statistique des textes qui permettent, par exemple, d'identifier leurs auteurs. En première et en terminale ES et STG c'est la notion d'information qui sera au centre de l'enseignement, en s'interrogeant sur la place des données dans les sciences humaines et surtout sur

la manière dont les systèmes d'information ont transformé le fonctionnement des entreprises. En première et en terminale STI2D, c'est la notion de machine qui prendra une place centrale, avec une étude plus fine de l'architecture des ordinateurs et de leur insertion dans des machines dédiées à des tâches spécifiques. En S, ce sont sans doute les notions d'algorithme et de modélisation qui seront prépondérantes. C'est enfin au lycée que l'on peut aborder l'utilisation de l'informatique dans des contextes plus globaux. On peut d'abord évoquer comment l'information sert de pivot à l'organisation d'un ensemble d'activités, dans un laboratoire par le dépouillement de résultats d'expériences ou par la simulation, ou dans une entreprise par les systèmes d'information. On peut aussi montrer comment des ordinateurs sont intégrés dans des ensembles techniques extrêmement complexes, comme les avions. L'étude de ces sujets conduit à considérer des questions de sociétés dont l'étude, comme nous l'avons dit, accompagne la phase conduisant à la maîtrise de l'informatique. Ce type de travail, par nature interdisciplinaire, sera réalisé en coopération avec les professeurs de philosophie, de français, de musique, d'économie, etc.

Après le bac : préparer à tous les métiers liés au numérique

Évoluer avec l'enseignement informatique dans le secondaire

L'enseignement de l'informatique après le bac sera certainement à repenser quand les étudiants auront de vraies bases en informatique en arrivant au bac. Cet enseignement sera naturellement différent selon que l'on s'adresse à de futurs informaticiens, à de futurs ingénieurs ou scientifiques d'autres spécialités, ou à des étudiants destinés à d'autres carrières. Nous ne discutons ici que des grands principes de cet enseignement.

Les informaticiens. Des enseignements de l'informatique existent maintenant depuis suffisamment longtemps pour que le curriculum d'un informaticien soit relativement bien compris, même s'il peut encore exister des nuances importantes. La formation des informaticiens doit constamment s'adapter pour suivre les développements les plus récents de la recherche en informatique. Mais il ne faut pas se tromper, si les nouveautés arrivent à un rythme effréné dans les systèmes commerciaux, la science informatique évolue à un pas bien plus raisonnable.

L'importance des mathématiques dans l'apprentissage de l'informatique exige aussi une formation solide dans ce domaine. C'est une nécessité pour que les étudiants puissent véritablement s'initier à la science informatique. La majorité des informaticiens que nous formons ne travaillent pas dans l'industrie informatique mais dans tout le spectre des autres industries, voire participent activement aux recherches d'autres domaines, par exemple le médical, la biologie ou le nucléaire. Il est donc important de donner aussi aux étudiants informaticiens des bases scientifiques générales solides et de résister à la tentation de sur-spécialiser les étudiants en informatique. Une formation générale en mathématiques et en sciences expérimentales est indispensable pour qu'ils puissent durablement trouver leur place dans un monde en rapide évolution.

Les ingénieurs et scientifiques en général. Nous avons déjà insisté sur l'importance pour la compétitivité de nos industries de la formation des ingénieurs des métiers directement informatiques. La formation en informatique des ingénieurs et scientifiques non-informaticiens nécessite de même une attention particulière. Une particularité française est la filière d'excellence de formation d'ingénieurs et de scientifiques passant par les classes préparatoires et les Grandes Écoles. Cette filière amène une grande partie des élèves obtenant un diplôme d'ingénieur à un niveau correspondant à la troisième année ou quatrième année d'université en mathématiques et en physique. Il est essentiel de fixer des objectifs similaires en informatique. Cela passe par le renforcement – qui vient de débiter – de l'enseignement de l'informatique en classes préparatoires. De nombreuses écoles d'ingénieur accordent une place importante à l'enseignement de l'informatique. Il est important de s'assurer que le contenu est approprié, et là encore ne délaisse pas l'enseignement des bases au profit de l'enseignement d'outils et de techniques qui pourraient être rapidement obsolètes. A l'université, l'informatique a déjà pénétré la plupart des filières scientifiques. Ce mouvement est à encourager.

Les autres étudiants. Il est logique que la formation en informatique des étudiants non scientifiques comprenne un volet généraliste destiné à approfondir leur culture générale dans ce domaine et un volet dépendant plus spécifiquement de leur formation et du métier vers lequel ils se destinent. On notera que de plus en plus d'universités américaines, par exemple Princeton, offrent un cours d'introduction à l'informatique qui est suivi par une très grosse majorité de leurs étudiants. Un étudiant en cinéma pourra suivre *ensuite* des cours plus spécialisés sur le traitement ou la synthèse d'images, les effets spéciaux, un étudiant en administration des entreprises, un enseignement approfondi sur les systèmes d'informations, un étudiant en architecture, un cours de géométrie calculatoire, etc. On touche encore ici à la nécessité d'une approche globale du problème de l'enseignement. Dans la mesure où l'informatique aura été l'objet d'un enseignement véritable au lycée, ces étudiants pourront se contenter s'ils le souhaitent de spécialisations adaptées à leur discipline. Mais nous sommes encore bien loin d'une telle situation.

Dans ce cadre le risque principal nous paraît être que dans certaines filières, par ignorance des tenants véritables du sujet et par manque d'enseignants qualifiés en informatique, les formations se centrent sur l'utilisation d'outils sans réflexion sérieuse sur les concepts sous-jacents.

Le développement professionnel dans tous les métiers¹⁷

Le développement professionnel joue un rôle essentiel en informatique d'un double point de vue. D'abord il servira à amener à niveau les générations d'actifs à qui auront manqué des bases d'informatique ; pour eux, il sera en fait une formation initiale à l'informatique en mode différé. Ensuite, il permettra à tous de se tenir au courant des évolutions du domaine dans un monde où nous sommes sans cesse confrontés à l'arrivée de nouveaux outils et concepts. Dans ce domaine, les contenus de formation sont généralement très contextualisés en fonction des compétences professionnelles visées. Sur un plan général, il importe de bien prendre conscience du fait que la formation à des concepts, et non à des outils spécifiques, est souvent un garant de la durabilité des actions menées.

L'utilisation de cours en ligne ouverts et massifs permet de mettre en œuvre, à grande échelle et de manière mutualisée, ce type de formation, en lien avec les grands organismes de formation permanente. L'éducation populaire aux sciences informatiques passe aussi par le partage de contenus en ligne, en lien avec les acteurs de la culture scientifique et technique. De tels contenus peuvent servir de ressources aux initiatives locales de diffusion scientifique, comme cela se passe déjà parfois.

La formation et le statut des enseignants

La formation des enseignants est la première priorité

La formation et le statut des enseignants en général sont l'objet de beaucoup d'interrogations auxquelles ce rapport n'a pas pour objet de répondre seul, puisque qu'elles mettent en jeu l'ensemble des disciplines. Il est cependant possible de proposer quelques principes garantissant que l'informatique soit enseignée à tous les niveaux par des enseignants bien formés, comme c'est le cas pour les autres disciplines. Le premier de ces principes est qu'il n'y a aucune raison autre qu'historique de traiter l'informatique d'une manière différente des autres disciplines.

A chacun des niveaux, il conviendra de traiter de façon différente la formation initiale en ESPE (Ecole supérieure du professorat et de l'éducation) et le développement professionnel des enseignants en activité.

¹⁷ Extension de l'ancienne terminologie « formation continue ».

L'école

À l'école maternelle et à l'école primaire, il n'est pas d'usage de recourir à des enseignants spécifiques pour chaque discipline et il ne nous semble pas souhaitable de le faire pour l'informatique. Il est donc nécessaire d'inclure l'informatique dans les cursus de formation des Professeurs des écoles, à l'instar des autres disciplines, afin qu'ils puissent l'enseigner, comme ils enseignent les autres disciplines.

Il est également nécessaire de proposer une formation aux Professeurs des écoles qui enseignent déjà. Sur ce point, il est important de noter que les solutions existantes qui permettent de former quelques dizaines de professeurs par an sont largement insuffisantes. Nous avons besoin d'un véritable plan de formation national si nous voulons sortir notre pays de l'illettrisme informatique dans lequel il se trouve aujourd'hui.

Le collège

La question de la formation des professeurs de collèges nous semble mériter une attention particulière. Elle repose actuellement sur deux types de découpage des disciplines. Pour les sciences, il est traditionnel de les enseigner une par une, avec des cours de mathématiques, de physique, de chimie, de sciences de la vie, et de sciences de la terre. Mais un même professeur peut avoir des compétences multiples, en enseignant à la fois la physique et la chimie ou les sciences de la vie et les sciences de la terre. Au contraire, en technologie, il est traditionnel d'enseigner les techniques comme un tout : la technologie et non séparément le génie mécanique, le génie électrique, les biotechnologies, etc. Cette division n'est pas figée, car l'Académie des sciences et l'Académie des technologies promeuvent depuis 2006 des expériences d'enseignement intégré de science et technologie (EIST).

Il nous faut étudier le positionnement de l'informatique dans ce cadre. Tout d'abord, l'informatique est à la fois une science et une technique, et il n'est pas possible de la réduire à l'un de ces deux aspects sans la mutiler gravement. D'autre part, le génie informatique est trop spécifique pour se fondre dans un vaste ensemble qui comprendrait aussi par exemple le génie mécanique et le génie électrique. Enfin, si l'informatique est en partie une technique dont un but majeur est de construire des objets, ces objets sont souvent de nature abstraite. Il nous semble donc totalement exclu de fondre l'enseignement d'informatique dans l'enseignement de la technologie au collège, orienté vers les objets matériels. L'enseignement d'informatique doit donc être suffisamment spécifique, assuré par des professeurs spécifiquement formés au niveau master, même s'il doit évidemment interagir avec les autres enseignements. Autrement, le risque de sa perte de pertinence par trop grande dilution serait considérable.

Le lycée

Comme dans toutes les autres disciplines, un professeur d'informatique au lycée devra avoir un niveau minimum correspondant à une formation en informatique de quatre ou cinq ans après le bac. Ce principe peut se mettre en œuvre en créant des concours de recrutement en informatique – Agrégation, Capes –, comme il en existe dans les matières classiques, en recrutant comme enseignants des titulaires d'un master d'informatique, etc. Il est possible d'imaginer des solutions plus décloisonnées, par exemple le recours aux professeurs d'autres disciplines ayant suivi une formation partielle, comme cela s'est fait en terminale scientifique pour l'enseignement de spécialité *Informatique et sciences du numérique* (ISN), ou encore en utilisant la proposition faite par l'Académie des sciences en 2007 d'un CAPES avec une discipline majeure et une mineure, n'importe laquelle des deux pouvant alors être informatique. Mais, il faut absolument se méfier de la dilution des matières supposées mineures dont se plaignent à juste titre la chimie devant la physique ou les sciences de la Terre devant les sciences de la vie. Par exemple, faire enseigner

l'informatique seulement par les professeurs de mathématique pourrait conduire à n'enseigner qu'une partie du sujet, celle se rapprochant le plus des mathématiques, ce qui ne correspondrait pas aux objectifs précités.

Une piste qui demanderait à être explorée est celle de la mutualisation des moyens entre les universités et les lycées, voire les collèges. Les liens forts qui existaient jusqu'au milieu du XXe siècle entre les universités et les lycées se sont malheureusement distendus. L'introduction d'une nouvelle discipline scientifique peut être un moyen de les recréer. Il faut noter que cela ne fait que déplacer le problème, les départements d'informatique à l'université manquant très souvent eux-mêmes de personnel.

L'enseignement en ligne. Le développement des cours en ligne ouverts et massifs offre un nouveau levier pour améliorer la formation continue des enseignants, avec des économies d'échelle potentiellement importantes. Des formes expérimentales sont en place pour accompagner la formation des enseignants de la spécialité *Informatique et sciences du numérique* en terminale, et nous renseignent déjà sur leurs avantages et leurs limites. Ces cours en ligne peuvent accompagner une formation solide en présentiel à condition d'être ancrés au sein de communautés concrètes. Ils peuvent alors contribuer à la création de liens privilégiés entre enseignants-chercheurs et professeurs du second degré, qui forment le socle de ces communautés. L'aspect collaboratif des cours en ligne renforcera cette synergie et permettra de mutualiser les meilleurs contenus et les pratiques, au niveau national et local.

L'enseignement de l'informatique dans le monde

L'idée d'enseigner l'informatique dans l'enseignement scolaire remonte aux années 1960. S'agissant de formation générale, elle a été mise en œuvre dans les années 1970¹⁸. La décennie 1980 a vu la mise en place de nouveaux enseignements de formation générale en informatique, généralement sous forme optionnelle. À partir de la seconde moitié de cette décennie, l'intérêt des pouvoirs publics s'est déplacé, un peu partout dans le monde, vers la mise en œuvre des *outils informatiques* nouvellement apparus. Au début des années 2000 s'est manifestée une prise de conscience de la nécessité de valider chez les élèves des compétences en informatique. Puis, dans la seconde moitié de cette décennie, des enseignements spécifiques en informatique ont été mis en place aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement, une grande diversité existant entre les pays et, parfois, au sein de chacun d'eux.

Les lignes qui suivent présentent une synthèse de travaux de recherche et de rapports publiés avant le 10 décembre 2012. Elles visent à proposer une image d'une situation qui évolue assez rapidement.

Un ensemble contrasté de situations au niveau mondial, avec un intérêt croissant pour l'enseignement de l'informatique

La terminologie utilisée dans le monde pour décrire les enseignements relevant de l'informatique est variable, de même qu'il y a une grande variété des âges et niveaux d'enseignement auxquels les différents concepts sont introduits. Il convient de distinguer entre deux types d'enseignement : un enseignement centré sur la familiarisation avec les usages des technologies de l'information et la communication (TIC, ICT en anglais), selon une approche dite *intégrée*, et un enseignement spécialisé de science informatique. L'enseignement de familiarisation avec les usages se retrouve surtout dans les premiers niveaux de l'enseignement (*IT literacy*). Il est plus répandu que l'enseignement de la science informatique.

Dans les pays où un enseignement de science informatique existe, il y a des différences d'approche quant à la place entre réalisations pratiques et apprentissage théorique des concepts. Mais les orientations adoptées relèvent généralement de la pensée informatique (*computational thinking*), avec une place importante accordée à l'algorithmique et à la programmation. Les langages de programmation ne sont pas toujours précisés, l'intérêt portant surtout sur l'acquisition de concepts. Certains pays introduisent les réseaux et la gestion des systèmes d'information dès la fin du niveau secondaire.

Une comparaison entre cinq cas (Finlande, Japon, Massachusetts, Ontario, Singapour) réalisée pour la *Royal Society*¹⁹ montre que l'âge d'introduction d'un enseignement spécialisé en informatique varie de 12 à 16 ans.

¹⁸CERI-OCDE. (1971). *L'enseignement de l'informatique à l'école secondaire*. Paris : OCDE.

¹⁹Source : International Comparison of Computing in Schools, Report for the Royal Society, L. Sturman & J. Sizmur, september 2011.

Aperçu de la situation actuelle en Europe

En Europe, dans l'enseignement primaire et secondaire général, la plupart des pays ont considéré jusqu'à une période récente l'informatique davantage comme un ensemble d'outils permettant de développer des compétences dans les autres disciplines que comme une discipline autonome.

Pour le niveau secondaire, et surtout le niveau lycée, plusieurs pays ont une discipline informatique indépendante, avec un programme officiel, des enseignants formés, et des horaires dédiés. On peut noter une grande diversité dans les intitulés de cette discipline : *ICT* (TIC), *IT literacy*, *Informatics*, *Computer Science*. Les enseignements intitulés *Computer Science* sont plutôt construits sur la science informatique au sens où nous l'entendons ici. Pour les enseignements intitulés *ICT* (TIC) ou *IT literacy*, les situations sont variables. Il est en général question de l'utilisation d'un panel d'applications et de la connaissance du fonctionnement des ordinateurs.

Mais certains pays inscrivent explicitement le développement d'aptitude de programmation dans les objectifs d'apprentissage (notamment Allemagne, Grèce, Espagne, Italie, Pologne, maintenant Royaume-Uni)²⁰. Il y a, par ailleurs, une grande diversité quant au statut des enseignements d'informatique en fonction des propositions de cours : certains pays proposent des cours obligatoires, d'autres des cours optionnels, d'autres misent actuellement sur l'intégration de compétences et de savoirs liés à l'informatique dans les disciplines existantes.

Il est important de noter une tendance récente à l'implémentation de curricula spécifiques en informatique. Nous donnerons ici deux exemples : le Royaume-Uni et l'Allemagne.

L'exemple du Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a récemment connu des évolutions qui sont sans doute représentatives d'un mouvement plus général. Les technologies de l'information et de la communication figurent au programme national depuis longtemps. Mais des changements importants ont récemment été annoncés suite à de sévères critiques de cet enseignement.

En 2010, la *Royal Society* de Londres a mis en place un groupe de travail dont la mission était de s'intéresser à l'enseignement de l'Informatique. Le titre du rapport remis en 2011²¹ est éloquent : « *Shut down or restart ?* ». Le constat est qu'il est impératif de modifier l'enseignement tel qu'il était effectué, essentiellement fondé sur les technologies de l'information (en anglais *ICT*), et d'enseigner la science informatique à la place.

Parallèlement, le *Computer At School* (CAS), groupement d'enseignants et de professionnels de l'informatique, a proposé la création d'un enseignement d'informatique²². En juin 2012, Michael Gove, secrétaire d'état à l'éducation annonçait la fin de l'enseignement de TIC, afin de permettre aux établissements scolaires de proposer un vrai enseignement d'informatique (*Computer Science*). Il incitait à utiliser le programme d'enseignement proposé par le CAS.

En février 2013 a été faite l'annonce que la science informatique ferait partie de l'enseignement des sciences et des examens du Baccalauréat au même titre que la physique, la chimie ou la biologie.

²⁰Eurydice, 2001, op cite p 39.

²¹royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/education/policy/computing-in-schools/2012-01-12-Computing-in-Schools.pdf

²²Computer science as a school subject. Seizing the opportunity. CAS. Mars 2012
www.computingatschool.org.uk/index.php?id=documents

Quelques recommandations de la Royal Society

La question de terminologie est jugée essentielle : le rapport préconise de ne plus employer le terme fourre-tout ICT mais d'utiliser "*Digital Literacy*", "*Computer Science*" et "*Information Technology*", chaque terme étant défini en détail. L'utilisation de terminologies imprécises est vu comme ayant un fort impact négatif sur la création de politiques cohérentes.

La formation des enseignants est un enjeu essentiel ; au Royaume Uni, seuls 35 % des enseignants d'ICT ont été formés à ce sujet.

Le baccalauréat (*A level*) ICT existant, qui pourrait être l'équivalent d'un baccalauréat numérique, est en perte de vitesse. L'échec de ce baccalauréat est dû à un manque de coordination avec le supérieur qui n'accepte pas ensuite les étudiants dans les filières universitaires qui auraient dû les accueillir. Afin de relancer ce *A level*, une meilleure concertation s'avère nécessaire.

L'enseignement de l'informatique (incluant *Computer Science* comme discipline) est recommandé. L'âge de 14 ans est proposé comme étant celui auquel il est important d'avoir donné les éléments à l'élève pour que celui-ci puisse choisir d'approfondir ses connaissances et compétences en informatique (*well-informed choice*). Cette question du choix bien informé est également jugée importante dans le cadre de l'analyse des *Gender Issues*. Une étude complémentaire²³ menée dans différents pays (Japon, Finlande, Serbie,...) vient confirmer cette analyse.

L'exemple de l'Allemagne

En Allemagne, pays fédéral, la situation est variable selon les états. Dans l'ensemble, l'approche intégrée des technologies de l'information vue comme outils dans les autres disciplines est majoritairement adoptée pour le niveau primaire. Pour les niveaux collège et lycée, dans la majorité des états, à l'exception de trois d'entre eux, l'enseignement général comporte un enseignement de science informatique, soit obligatoire soit optionnel²⁴. En particulier, en Bavière un enseignement d'informatique obligatoire a été créé en 1998. Des chercheurs de l'université de Munich ont participé à l'écriture des *curricula* et réalisent depuis un travail soutenu en didactique de l'informatique²⁵.

En 2008, la « *Gesellschaft für Informatik* »²⁶, groupe d'intérêt réunissant des scientifiques et professionnels de l'informatique, a publié une proposition de curriculum pour le niveau collège (jusqu'à 16 ans). Les *Länder* qui révisent leurs programmes d'enseignement d'informatique vont dans le sens de cette proposition.

²³www.nfer.ac.uk/nfer/publications/cis101/cis101.pdf

²⁴Synopse zum Informatikunterricht in Deutschland, I. Staruß 2010. En ligne : dil.inf.tu-dresden.de/uploads/media/Bakkalaureatsarbeit_Isabelle_Starruss_01.pdf

²⁵Voir les travaux de Peter Hubwieser

²⁶« *Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule* » En ligne : <http://www.informatikstandards.de/>

Bref aperçu sur la situation dans le reste du monde

L'Asie est une région vaste et contrastée. Les études internationales menées indiquent qu'il existe un grand intérêt pour les formations en informatique dès le niveau lycée (en particulier Corée du sud, Vietnam, Inde, etc.) En Inde, un cours d'informatique (*Computer Science*) optionnel est proposé aux élèves âgés de 14 ans. Avant cet âge, les établissements sont libres de proposer un enseignement d'informatique selon leurs moyens. Il existe plusieurs institutions établissant les programmes et la certification des établissements scolaires. Les deux principaux proposent des curricula complets pour l'enseignement d'informatique pour le niveau lycée²⁷. Depuis 2008, un groupe d'universitaires travaille à l'élaboration d'un curriculum²⁸.

La situation sur le continent africain est aussi contrastée. Il est cependant notable qu'un certain nombre de pays, en particulier en Afrique du Nord, ont mis en place des enseignements d'informatique dès le collège. Les pays de l'Afrique sub-saharienne ont également à cœur de proposer des enseignements spécifiques, comme moyen d'assurer un développement futur²⁹.

En Israël³⁰, en 1990, le ministère de l'éducation a mené un projet d'élaboration d'un curriculum en informatique (*Computer Science*) pour l'enseignement secondaire. Ce programme a été mis en œuvre en 1998, par la création de deux enseignements d'informatique au niveau du lycée : un enseignement de 270 heures en 3 modules consacré aux bases de l'informatique, et un enseignement de 450 heures en cinq modules sur des notions avancées. Deux modules de fondements sont obligatoires et le reste est au choix parmi quatre modules. Des manuels pour les élèves et des livres du professeur sont édités. Les enseignants recrutés doivent avoir au minimum une licence d'informatique³¹. Les élèves sont évalués par un examen final. Actuellement, un curriculum pour le niveau collège est en cours d'élaboration. Il comporte une partie obligatoire et une partie optionnelle. Le programme est centré sur la programmation, la robotique et l'utilisation du tableur pour des domaines scientifiques. L'objectif affiché est d'attirer les élèves vers les domaines scientifiques.

Synthèse

Les expériences étrangères présentées ici nous apprennent que la mise en place d'un enseignement d'informatique prend du temps, et suppose qu'un certain nombre de conditions soient satisfaites :

- La clarification de la terminologie utilisée. Des pays comme l'Allemagne ou Israël, qui ont conçu et mis en œuvre des curricula en informatique (*Computer Science*) ne semblent pas connaître de débat sur la terminologie. Les termes *Computer Science* et *Informatics* sont adoptés.
- La conception d'un curriculum complet. Dans plusieurs pays, des associations ou groupement d'intérêt réunissant des chercheurs, scientifiques et spécialistes de l'éducation ont proposé des

²⁷Voir le Council for the Indian Certificate Examinations, et le *curriculum* proposé par le Central Board of Secondary education : <http://www.cbse.nic.in/welcome.htm>

²⁸Model Computer Science Curriculum for School, Ier et als. 2010. .

²⁹A noter la mise en place très récente d'un enseignement de « technologies de l'information et de la communication a été annoncé en Côte d'Ivoire) de la maternelle à la classe de 3e : www.education-ci.org/portail/node/250.

³⁰Source : « a Model for High School Computer Science Education : The Four Key Elements that Make it ! », O. Hazzan, J. Gar-Ezer and L. Blum, SIGCSE'08, march 2008, Portland, Oregon, USA.

³¹Ragonis, N., Hazzan, O., & Gal-Ezer, J. (2010). A survey of computer science teacher preparation programs in Israel tells us: computer science deserves a designated high school teacher preparation! In Proceedings of the 41st ACM technical symposium on Computer science education (pp. 401–405).

curricula complets d'enseignement d'informatique pour les niveaux collège et lycée. C'est notamment le cas en Allemagne, en Israël, en Ontario, aux États-Unis. Ces curricula ont fortement contribué à la création des enseignements et leur mise en œuvre dans les établissements. Ils ont l'avantage de fournir une description claire de ce qu'est l'informatique.

- La mise en place d'une formation solide des enseignants ou le recrutement d'enseignants possédant une qualification en informatique de niveau licence. Dans plusieurs pays, un relatif échec des enseignements plutôt orientés « TIC » a résulté du manque de formation des enseignants (voir notamment l'encadré consacré au Royaume Uni). Les pays ayant créé un enseignement de science informatique, comme Israël, ont porté un effort important sur la formation et/ou le recrutement d'enseignants qualifiés.