



Enseigner l'informatique de la maternelle à la terminale

Société informatique de France

Le 24 mars 2016, une délégation de la SIF a été reçue par le président du Conseil supérieur des programmes (CSP) au ministère de l'Éducation nationale pour discuter du programme pour un enseignement facultatif d'informatique et de création numérique (ICN) en classes de première ES, L et S, et terminale ES et L.

Suite à cette réunion, le président du CSP a invité la SIF à produire un texte donnant une vision d'ensemble de l'enseignement de la discipline informatique sur l'ensemble du temps scolaire.

Le présent document répond à cette invitation.

Il a été approuvé par le Conseil scientifique et le Conseil d'administration de la SIF.

Paris, le 25 août 2016.

Ce texte, délibérément très général, propose une progression permettant d'articuler les programmes d'informatique des différents cycles qui se succèdent de la maternelle à la terminale, afin de donner aux élèves une culture générale en informatique, qui leur permette de comprendre le monde dans lequel ils vivent et de se préparer à exercer un métier dans lequel, quel que soit ce métier, des connaissances informatiques leur seront nécessaires. L'objectif est qu'au sortir de l'enseignement secondaire, les élèves aient compris ce qu'est l'informatique, qu'ils connaissent les concepts fondamentaux de la pensée informatique – algorithme, machine, langage et information – et qu'ils aient acquis une certaine autonomie pour construire des objets informatiques par eux-mêmes.

Trois équilibres

Enseigner l'informatique demande de prendre en compte trois formes de complexité, qui sont constitutives de l'informatique elle-même. Tout d'abord, l'informatique est à la fois une science et une technique. Ensuite, elle articule quatre concepts, qui la précèdent, mais qu'elle a complètement renouvelés. Enfin, elle est le levain d'une transformation radicale du monde, ce qui se traduit, en particulier, par le fait qu'elle entretient des liens complexes avec les autres disciplines.

Cela demande de veiller à trois équilibres dans son enseignement :

- entre les activités scientifiques et les activités techniques, notamment la réalisation de projets,
- entre les différents concepts enseignés, et
- entre l'enseignement de la discipline proprement dite et de ses interfaces, notamment son utilisation dans d'autres disciplines.

Cette progression et ces équilibres doivent naturellement être modulés en fonction des séries et des horaires alloués à la discipline.

Une science et une technique

Nous distinguons habituellement les sciences, activités qui visent à connaître, des techniques, activités qui visent à faire. Par exemple, l'astronomie, qui nous permet de connaître la forme de la trajectoire de la planète Mars autour du Soleil, est une science et l'astronautique, qui nous permet de fabriquer une sonde et de l'envoyer sur Mars, est une technique. Les sciences et les techniques sont naturellement imbriquées, mais elles sont en général distinguées, en particulier dans notre lexique. Une particularité du mot « informatique » est qu'il désigne à la fois une science et une technique : l'informatique est à la fois une science, qui nous permet, par exemple, de savoir qu'il n'existe pas d'algorithme de tri en temps linéaire, et une technique, qui nous permet de fabriquer un programme pour trier des données. Comme nombre de techniques avancées, l'informatique est également une industrie.

L'informatique se distingue d'autres techniques par le fait que les objets qu'elle construit sont souvent immatériels, alors que, dans notre langue, le mot « technique » est souvent associé à la construction d'objets matériels. Construire des objets matériels, tel un vase en céramique, demande souvent une grande habileté manuelle. Construire des objets immatériels, tels des programmes, demande d'autres qualités : maîtrise d'un ou plusieurs langages, faculté d'abstraction... Ce lien entre la main et la technique est profondément ancré dans notre culture, si bien que l'Éducation nationale a un temps dispensé un enseignement d'« Éducation manuelle et technique », mais il est, pour l'essentiel, rendu caduc par le développement de l'informatique, qui nous oblige à repenser une partie de la technique comme un domaine de la pensée abstraite.

Apprendre à fabriquer des objets, en particulier des programmes, est donc une étape essentielle dans l'apprentissage de l'informatique. C'est l'étape à laquelle l'élève cesse d'utiliser exclusivement des programmes écrits par d'autres et où il commence à concevoir des programmes, qui peuvent être utilisés par d'autres comme par lui-même.

L'initiation à la programmation peut commencer dès le plus jeune âge, par exemple à la maternelle, en utilisant des langages graphiques, qui ne demandent pas de connaître les lettres de l'alphabet. Cette initiation peut contribuer au développement de la faculté des élèves à se projeter dans l'avenir, c'est-à-dire à définir un projet et à le réaliser, et à leur familiarisation avec l'utilisation de symboles. Mais, même s'il est possible de découvrir la programmation assez tôt, c'est le collège qui est le moment le plus adapté pour son approfondissement et sa maîtrise. Cet apprentissage est en effet en cohérence avec d'autres apprentissages du collège : le langage de l'arithmétique avec l'utilisation de parenthèses, le langage de l'algèbre, la notation musicale, la modélisation de phénomènes physiques...

Placer ainsi l'apprentissage de la programmation au collège permet de découper l'apprentissage de l'informatique en trois phases : à l'école primaire, une découverte des concepts de la pensée informatique et une initiation à la programmation, au collège une focalisation sur l'apprentissage en profondeur de la programmation et l'acquisition de l'autonomie qui l'accompagne, au lycée l'apprentissage de la science informatique.

Le fait que l'informatique soit à la fois une science et une technique se traduit aussi dans les méthodes pédagogiques utilisées pour l'enseigner. Pas plus qu'il n'est possible d'apprendre à jouer d'un instrument de musique sans le pratiquer, il n'est possible d'apprendre l'informatique sans réaliser soi-même des projets, en particulier des projets de programmation. À tous les niveaux, il est essentiel que les élèves apprennent en faisant. Les premiers projets que l'on peut réaliser au collège ne sont guère plus ambitieux qu'un exercice un peu élaboré, mais ils diffèrent, sur le plan pédagogique, par le fait que, dès ce niveau, les élèves doivent être autonomes dans la définition de leurs objectifs : l'enseignant leur suggère certes des objectifs initiaux, mais, au cours de la réalisation de leur projet, les élèves doivent redéfinir ces objectifs et se les approprier.

Les quatre concepts de l'informatique

Un ordinateur est une machine à exécuter des algorithmes. Ces deux concepts d'algorithme et de machine sont antérieurs à l'invention des ordinateurs, et ils ont, de ce fait, longtemps été pensés séparément. Quand les scribes de Mésopotamie, par exemple, ont proposé les premiers algorithmes pour résoudre des équations du second degré, ces algorithmes étaient destinés à être exécutés à la main, par un être humain, et non par une machine. À l'inverse, les moulins à eau, qui datent aussi de

l'Antiquité, servaient à moudre des céréales ou à presser des olives, et non à exécuter des algorithmes permettant de résoudre des équations du second degré.

L'idée de machine à exécuter des algorithmes symboliques a lentement émergé avec les carillons des cathédrales, les machines de Wilhelm Schickard et de Blaise Pascal, les métiers à tisser à cartes perforées de Joseph Marie Jacquard, les machines imaginées par Charles Babbage et Ada Lovelace... Et ce n'est qu'au milieu du XX^e siècle que nous avons été enfin capables de construire des machines programmables universelles, qui permettent d'exécuter tous les algorithmes symboliques possibles : des ordinateurs.

La construction de ces machines a mené à un renouvellement complet de ces concepts d'algorithme et de machine. Mais elle a aussi entraîné un renouvellement de deux autres concepts, eux aussi très anciens : ceux de langage et d'information.

Cette pluralité conceptuelle, qui est peut-être la grande originalité de l'informatique, est à l'origine d'une pluralité de visions de l'informatique et d'une pluralité de ses figures tutélaires : Muhammad Al-Khwârizmî, Johannes Gutenberg, Blaise Pascal, Charles Sanders Peirce...

L'enseignement de l'informatique à tous les niveaux doit donc veiller à rendre compte de cette pluralité et à équilibrer les différents concepts d'algorithme, de machine, de langage et d'information, dans un enseignement cohérent et dispensé par un enseignant unique. Enseigner l'informatique ne peut donc se limiter à enseigner des algorithmes, tel l'algorithme d'Euclide, sans enseigner également comment ces algorithmes s'expriment dans un langage de programmation, comment ils sont exécutés par une machine, comment sont représentées les données qu'ils transforment et comment ils transforment la vie de leurs utilisateurs. Enseigner l'informatique ne peut non plus se limiter à enseigner comment on fabrique un robot, sans enseigner également la manière dont ce robot peut être programmé dans un langage particulier, dont sont conçus les algorithmes qui permettent de le commander, dont sont représentées les données captées par ce robot et dont ce robot peut être utilisé pour fabriquer d'autres objets.

On peut, pour chacun de ces concepts, définir une esquisse de progression.

Le concept d'algorithme

À l'école primaire les élèves peuvent prendre conscience du caractère systématique des procédés qu'ils ont appris – à l'école ou hors de l'école – pour résoudre certains problèmes : faire un gâteau, fabriquer un objet en argile, peser un objet avec une balance Roberval. Ils peuvent aussi distinguer, au sein de ces procédés, ceux qui s'appliquent à des objets constitués de symboles, tels des lettres et des chiffres : mettre un mot au pluriel, effectuer une addition, rechercher un mot dans un dictionnaire, rendre la monnaie... Ils peuvent prendre conscience de la pluralité des algorithmes qui permettent de résoudre un même problème, par exemple chercher un mot dans un dictionnaire.

Au collège, ils peuvent commencer à apprendre un certain nombre d'algorithmes classiques, tels les algorithmes de tri par sélection ou par insertion, ils peuvent aussi apprendre quelques principes algorithmiques généraux : la dichotomie, la recherche exhaustive, la transformation étape par étape... Ils peuvent prendre conscience du caractère algorithmique des jeux et de stratégies. Ils peuvent prendre conscience que certains algorithmes sont plus rapides que d'autres.

Au lycée, ils peuvent apprendre des algorithmes classiques, plus complexes, de tri, de traitement du texte, de synthèse d'images, de recherche du plus court chemin dans un graphe... Ils peuvent analyser l'efficacité de certains algorithmes et distinguer les premières classes de complexité : logarithmique, linéaire, quasi-linéaire, quadratique, exponentielle...

Le concept de machine

À l'école primaire, les élèves peuvent découvrir les fonctions essentielles de différents composants des machines : les processeurs, qui réalisent les calculs et sont au cœur des ordinateurs, des tablettes et des téléphones, les mémoires qui permettent de stocker de l'information, les réseaux qui acheminent l'information d'un point de l'espace à un autre, les capteurs et les actionneurs qui interfacent les ordinateurs avec d'autres objets.

Ils peuvent prendre conscience que les ordinateurs prennent des formes très différentes : ordinateur de bureau, robot, téléphone... Le premier but de l'enseignement est de faire découvrir les grands principes qui sous-tendent l'utilisation de machines, non d'entraîner les élèves à utiliser des objets logiciels ou matériels, qui seront vite périmés.

Au collège, ils peuvent apprendre les grands principes d'organisation d'un ordinateur : en particulier la séparation entre la mémoire et le processeur. Ils peuvent découvrir les principes d'organisation des réseaux. Ils peuvent comprendre les principales données techniques d'une machine particulière : taille de la mémoire, taille du disque, vitesse d'horloge...

Au lycée, les élèves peuvent être confrontés à des architectures plus complexes découpées en blocs fonctionnels, matériels ou logiciels, interagissant via leurs interfaces. Ils peuvent comprendre que les ordinateurs ont plusieurs processeurs qui calculent en parallèle et que les ordinateurs sont parfois organisés en centres de calcul. Ils peuvent découvrir le langage machine et comprendre le lien qui unit l'architecture d'un ordinateur et le langage dans lequel il est programmé. Ils peuvent découvrir la notion de système d'exploitation. Ils peuvent apprendre les principes de l'organisation des réseaux, notamment la notion de protocole, la notion de routage, l'organisation des protocoles en couches, qui répondent à des problèmes différents, et la sécurisation des communications, en utilisant des méthodes cryptographiques. Ils peuvent comprendre que des ordinateurs sont embarqués dans des objets hybrides tels des voitures, des avions...

Le concept de langage

À l'école primaire, les élèves peuvent aborder la notion de langage en décrivant par exemple des chorégraphies sommaires dans un langage formel approprié – par exemple : avancer trois mètres vers le nord, puis quatre mètres vers l'est et trois mètres vers le sud : « N3 ; E4 ; S3 ». S'ils utilisent au départ des langages définis par les enseignants, ils peuvent ensuite créer de tels langages eux-mêmes. Ils peuvent apprendre à traduire un message d'un langage dans un autre. Ils peuvent aussi découvrir la notion de langage formel, à travers une initiation à un langage de programmation. Ils peuvent comprendre la place que les langages formels ont tenu dans notre culture à travers l'exemple de la notation musicale ou des langages d'expression des nombres.

Au collège, l'essentiel de leur enseignement d'informatique est centré autour de la notion de programme et de programmation. Il est important que les élèves comprennent les fonctionnalités des langages de programmation l'une après l'autre, par des exercices et des projets appropriés, et non qu'ils abordent la programmation de manière holiste en modifiant des programmes qu'ils ne comprennent pas.

Au lycée, ils peuvent approfondir leur compréhension des langages de programmation, en particulier maîtriser des fonctionnalités avancées, tels les objets. Ils peuvent aborder la notion de grammaire. Ils peuvent maîtriser plusieurs langages de programmation et les comparer. Ils peuvent inventer eux-mêmes des langages élémentaires, par exemple permettant de faire un dessin en déplaçant une tortue sur l'écran, et réaliser des interpréteurs pour ces langages.

Le concept d'information

À l'école primaire, les élèves peuvent aborder la notion d'information à travers la question de la représentation des images. Ils peuvent par exemple, au cours d'une activité débranchée, superposer un quadrillage sur une image et noircir des cases du quadrillage qui contiennent un morceau de cette image. Ils obtiennent alors une image pixelisée qui peut se décrire par une suite de symboles : BBNBB... où chaque symbole indique si un pixel est blanc ou noir. Ils peuvent aussi découvrir la représentation des lettres et des textes à travers le code Morse ou un autre code du même type. Ils peuvent percevoir qu'une fois numérisée une information est facile à stocker, à transmettre et à dupliquer, et contraster ces propriétés avec celles d'une photographie ou une page de texte imprimées. Ils peuvent saisir que c'est là l'origine de toutes les opportunités et les risques que présente l'information numérisée. Ils peuvent découvrir les notions de chiffrement à travers le code de César ou le code ROT-13.

Au collège, la notion d'information apparaît à travers la notion de type de données d'un langage de programmation : nombre, liste de nombres. Ils découvrent aussi des concepts d'organisation, de structuration de l'information dans une base de données, et de recherche d'information dans un corpus.

Au lycée, les élèves peuvent approfondir les notions de base de données et de système d'information. Ils se confrontent aux grands volumes de données tel le Web, et prennent conscience que la taille des données est essentielle quand il s'agit de réaliser des calculs sur des données.

La même informatique pour tous, mais adaptée selon les séries

De même qu'un ordinateur est une machine « à tout faire », il n'existe pas de science informatique différente pour les physiciens ou les littéraires, les agriculteurs ou les coiffeurs. Les quatre concepts précédents, algorithme, machine, langage, information, donnent une dimension universelle à l'informatique et en constituent les piliers. Ce sont ces quatre mêmes concepts que tous les élèves doivent s'approprier et ce quel que soit leur parcours dans l'éducation nationale.

Cela dit, les utilisations de ces concepts peuvent être très différentes et conduire à des outils et des techniques très différents. Parce que l'informatique transforme toutes les professions, chacun a d'ailleurs tendance à réduire l'informatique à la partie qu'il connaît le mieux. Ainsi, pour un chef d'entreprise, l'expression « l'informatique » désigne le système d'information de son entreprise. Pour un photographe, cette même expression désigne le logiciel de retouche photo qu'il utilise. Pour certains enseignants, « faire de l'informatique » signifie utiliser un pH-mètre numérique ou modéliser un phénomène physique en utilisant un logiciel de calcul numérique.

Quand les élèves commencent à se spécialiser, notamment au lycée, l'enseignement de l'informatique doit s'adapter à leur spécialisation. Ils doivent se familiariser avec les utilisations de l'informatique dans le cadre de cette spécialisation. Mais ils doivent également approfondir leurs connaissances en informatique. L'enseignement doit donc être fondé sur un équilibre entre ces deux exigences, par exemple, entre la familiarisation avec un outil utilisé dans un métier particulier, et l'acquisition des concepts qui permettront de plus facilement s'approprier celui qui, dans quelques années, remplacera cet outil. Si un enseignement de l'informatique peut aborder la question des systèmes d'information, des logiciels de retouche photo, de la conversion analogique-numérique ou les logiciels de calcul numérique, il ne saurait se limiter à l'un de ces domaines particuliers. Comme dans les autres disciplines, la transmission des concepts qui structurent la discipline doit rester un objectif essentiel de l'enseignement de la discipline.

La pédagogie par projets permet depuis les plus petites classes de se rapprocher des centres d'intérêt des élèves. Quand les élèves commencent à se spécialiser, cette même pédagogie permet d'adapter l'informatique aux programmes des différentes séries. Plutôt que de partir de concepts informatiques, on peut par exemple partir de questions spécifiques posées dans le cadre de la série en question, se servir de l'informatique pour les résoudre, et profiter de l'occasion pour approfondir des concepts informatiques.

Le levain d'une transformation du monde

L'informatique est à l'origine d'une transformation profonde du monde, parfois appelée « révolution informatique », qui est un levier extraordinaire pour intéresser les jeunes à l'informatique et aux sciences et aux techniques en général. Son enseignement doit être un cadre privilégié pour une réflexion sur cette transformation.

L'une des choses que l'informatique transforme est la manière dont les enfants et les adolescents communiquent avec leurs amis. Comme ce point concerne les élèves directement, c'est aussi un point qu'un enseignement de l'informatique doit aborder. Mais les fausses pistes sont nombreuses, parmi lesquelles celle d'un enseignement de règles de bonne conduite dont les élèves ne comprendraient ni l'origine ni la signification. Au contraire, en expliquant que la numérisation de l'information permet sa duplication à l'infini, sa transmission à la vitesse de la lumière et son stockage pour une durée illimitée, on pose les bases d'une réflexion sur les dangers, mais aussi sur les opportunités que cette numérisation de l'information recèle, et partant de là, sur les règles que les élèves peuvent construire eux-mêmes pour tirer parti de ces opportunités, tout en se protégeant de ces dangers.

Ces questions des liens de l'informatique avec les transformations de la société peuvent se découper en deux groupes. Il y a d'une part les questions qui concernent la vie quotidienne et donc tout le monde indifféremment : les questions de protection de la vie privée, les transformations du travail et des institutions, les transformations de l'accès au savoir, l'évolution de la notion d'ami... sont des exemples qui intéressent tout le monde. D'autres questions concernent certaines activités particulières : les transformations de la manière dont la musique est composée, dont les expériences scientifiques sont conduites, le rôle de l'imagerie dans le diagnostic médical, concernent davantage les élèves intéressés par la musique, les sciences expérimentales ou la médecine. Le choix des sujets à développer dépend donc beaucoup des centres d'intérêt des élèves et des séries vers lesquelles ils s'orientent.

Dans un cas comme dans l'autre, ces sujets sont de formidables opportunités de travail interdisciplinaires. Le rôle du professeur d'informatique, dans de tels projets, est d'établir le lien entre les connaissances scientifiques et techniques et leurs impacts sociétaux. Par exemple, il est stérile de constater que le travail du photographe est différent aujourd'hui de ce qu'il était naguère. En revanche, expliquer en quoi la représentation numérique des images a changé le travail du photographe permet aux élèves de mener par eux-mêmes une réflexion sur la manière dont la représentation d'un objet modifie les possibilités de le transformer.

L'importance de la formation des enseignants

Enseigner l'informatique demande donc un grand recul pour être capable de veiller à ces différents équilibres, être capable de veiller à toujours centrer son enseignement sur des connaissances pérennes, encadrer les projets d'élèves qui

s'aventureront peut-être loin de leur zone de confort et aussi loin de celle de l'enseignant. Les enseignants d'informatique, pas plus que n'importe quels enseignants, ne peuvent avoir la réponse à toutes les questions de leurs élèves. Mais ils doivent avoir une vision assez complète du domaine pour savoir les orienter vers les réponses, vers l'exploration, vers l'acquisition de nouvelles compétences.

Bien souvent les enseignants qui ont reçu une formation courte, et maîtrisent par exemple un unique langage de programmation, n'ont non seulement pas le recul nécessaire pour distinguer les idiosyncrasies de ce langage des principes de la programmation, mais, de plus, ils se retrouvent démunis s'ils doivent enseigner un autre langage, car ils n'ont pas les clés pour transposer leur savoir d'un langage à un autre. Une formation courte rend aussi difficile la maîtrise des différents équilibres entre science et technique, entre les différents concepts de la pensée informatique et entre le cœur de la discipline et ses interfaces.

Il faut aussi être conscients de ce que, petit à petit, nous verrons arriver des générations d'élèves de plus en plus compétents en informatique, qui auront eu des cours à l'école, au collège, au lycée et qui auront aussi eu accès à de nombreuses connaissances en ligne, et qui n'en auront que plus d'attente de compétences des professeurs dans ce domaine. Il faudra accompagner cette montée en compétence des élèves par une montée en compétence préalable des enseignants. Cela pourra être réalisé en partie par des professeurs d'autres disciplines qui auront fait l'effort d'acquérir un bon niveau – correspondant à quatre ou cinq années d'études de l'informatique à l'université – dans une discipline qui sera nouvelle pour eux. Mais cet effort est considérable et ne pourra concerner qu'un petit nombre d'enseignants. Il est nécessaire que cela soit également réalisé par le recrutement, par les concours habituels, d'enseignants ayant appris l'informatique sur les bancs de l'université.

C'est une condition du succès d'un enseignement de l'informatique en France, comme cela l'a été dans d'autres pays.

Bibliographie

Académie des sciences, *L'enseignement de l'informatique en France – Il est urgent de ne plus attendre*, 2013.

Conseil national du numérique, *Jules Ferry 3.0, bâtir une école créative et juste dans un monde numérique*, 2014.