

Les mathématiques face à l'enseignement de l'informatique

Comité scientifique des IREM
(Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques)

Débat tenu le 20 mars 2008

Le comité scientifique avait invité à l'occasion de ce débat :

- Robert CABANE, Inspecteur général de Mathématiques, co-président du groupe de travail (automne 2008) sur les projets de programmes d'informatique en seconde
- Luc BOUGE, Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan (antenne de Rennes), vice-président du jury de l'Agrégation de mathématiques, en charge de l'option Informatique
- Alex ESBELIN, Directeur de l'IREM de Clermont-Ferrand, membre du groupe "algorithmique et mathématiques discrètes"
- Paul GASTIN, Directeur du département d'Informatique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan
- Jacques MOISAN, Doyen de l'Inspection Générale de Mathématiques
- Jean-Marc RAVIER, responsable de la Commission Inter-IREM "Informatique et Mathématiques" (CI3M)

Certains de ces invités (Robert CABANE, Luc BOUGE, Alex ESBELIN) ont présenté des exposés introductifs au débat. Un autre exposé a été effectué par Gérard Kuntz, membre du comité scientifique.

Le présent document fournit des résumés de ces exposés, un compte-rendu de la discussion qui a suivi et la copie du passage relatif à ce débat dans le "relevé de conclusions" qui a été diffusé le 21 avril 2009 dans le réseau des IREM¹. Des pièces-jointes (diaporamas de certains exposés, rappel historique, exemple étranger) sont fournies sur le "portail des IREM", dans la même rubrique que ce document.

En préambule à ce débat, Michel Fréchet attire l'attention du CS sur le problème des décharges pour formateurs en TICE, tel qu'il se pose en particulier dans l'académie de Rouen. On trouve, en annexe 4 de "Relevé de conclusions", le rapport de Michel Fréchet ainsi que l'incitation à tous les IREM de faire remonter à la présidence de l'ADIREM toutes les informations dont ils disposent à ce sujet dans leurs académies. Le CS profite de la présence à cette réunion du doyen de l'Inspection Générale de Mathématiques pour l'alerter sur ce problème.

1. Voir : <http://www.univ-irem.fr/spip.php?article224>

Jean-Pierre Raoult présente les invités à ce débat et rappelle à quel titre ils ont été ou sont impliqués dans la question traitée. Il excuse Antoine Petit, directeur du centre de recherches de l'INRIA à Rocquencourt, qui, à la dernière minute, a été requis pour une réunion lui interdisant de venir au CS des IREM comme il le souhaitait. Il rappelle quels sont les documents qui ont été fournis par certains des participants au débat et diffusés préalablement à cette réunion². Il exprime le regret que l'interdiction, décrétée par le ministre de l'Education Nationale, de diffuser les documents issus des groupes de travail ayant fonctionné, sur des projets de programmes de seconde, à l'automne 2008, ait empêché Robert Cabane de nous adresser avant la présente réunion les résultats du groupe de travail auquel il a participé et l'ait contraint à ne les présenter ici qu'oralement³.

1. Communication de Gérard Kuntz : rappel historique sur “l'Option Informatique” (1981, 1992)

Le diaporama utilisé par Gérard Kuntz pour son exposé sur cette “OI” est fourni en pièce-jointe au présent compte-rendu de débat .

L'exposé de Gérard Kuntz est marqué par l'évocation des satisfactions qu'il avait retirées de sa participation à un enseignement innovant dont les objectifs (apport de connaissances techniques, apprentissage de méthodes de travail, prise de conscience des enjeux économiques, sociaux et culturels) lui paraissaient judicieux. Il met en évidence les difficultés qui ont conduit à l'abandon de cette option qui fut, d'une certaine manière, “victime de son succès” car la pénurie d'enseignants formés à cette option, face à la demande croissante des élèves, a amené à la détournement vers un fonctionnement “sélectif” contraire à son esprit même.

Il insiste sur les enseignements à tirer de cette expérience si l'on réintroduit sous une forme ou une autre un enseignement d'informatique poussé en lycées :

- nécessité de mettre en place un mode de validation adapté à l'enseignement suivi (l'évaluation purement “sur papier” de l'OI avait été un obstacle) ;
- besoin de formation spécifique des enseignants qui doivent, comme les élèves, éviter le comportement “bidouilleur” et savoir ici “désapprendre pour apprendre mieux”.

Gérard Kuntz donne la référence d'un ouvrage issu de cette expérience :
L'Option Informatique au Lycée, par Philippe Breton, ed. Hachette, 1996 (notice disponible sur : <http://www.priceminister.com/offer/buy/205014/Breton-P-L-option-Informatique-Au-Lyce-Livre.html>)

2. Communication de Robert Cabane : Le groupe de travail ministériel de l'automne 2008

Robert Cabane considère tout fait pertinente la présentation de Gérard Kuntz, qui fournit une introduction adaptée au problème tel qu'il se pose aujourd'hui, tant par la permanence des grands objectifs à viser pour la formation des jeunes (malgré des évolutions technologiques et sociétales importantes) que par les enseignements à tirer des difficultés alors rencontrées.

2. Ces documents ont mis sur le portail des IREM en même temps que le présent compte-rendu de débat.

3. Situation dénoncée comme “absurde” par René Cori après l'intervention de Robert Cabane ; cette situation perdue à la date de diffusion du présent compte-rendu de débat, en juin 2009.

Il indique les grands principes retenus par le groupe de travail quant à l'enseignement de l'informatique :

- l'informatique est devenue de plus en plus une discipline autonome ("ce n'est une sous-discipline de rien") ce qui implique qu'elle puisse concerner des enseignants ayant différentes disciplines de rattachement,
- son universalité exige que l'enseignement ne soit pas dirigé vers une profession donnée (et en particulier pas uniquement vers les métiers de l'informatique),
- l'apprentissage doit être conçu de manière à favoriser le travail en équipe.

La période actuelle est marquée par une demande importante de la société et des milieux scientifiques (INRIA, par exemple) et professionnels (besoins exprimés par le SYNTEC). Face à cette demande⁴, il faut adopter une attitude proprement pédagogique et pensée dans le cadre de l'ensemble de l'enseignement en lycée (à ce titre la part consacrée à l'algorithmique dans la production du groupe de travail "mathématiques pour la classe de seconde" qui a fonctionné en parallèle n'est pas fortuite).

Le contenu de l'enseignement doit prendre en compte l'évolution technologique de l'informatique depuis 20 ans et partant l'évolution de son rôle social :

- la réalité contemporaine est marquée par l'existence d'une masse d'objets communicants ; donc l'éducation à l'informatique doit se centrer non sur l'ordinateur mais sur l'algorithmique, et doit manifester qu'il ne s'agit pas de créer de gros programmes isolés mais des "briques" qui s'insèrent dans des productions collectives ;
- la place croissante des TICE dans l'enseignement risque de faire écran à l'activité proprement informatique (en d'autres termes il faut s'écarter de l'esprit du B2I) ;
- il faut éviter le dogmatisme, insister sur la pratique et stimuler l'esprit créatif et pour cela limiter le formalisme et favoriser la réalisation de projets.

Le préambule du projet, dont Robert Cabane donne lecture, insiste sur la formation au contexte social de l'informatique : liberté de l'individu, protection des données.

L'enseignement projeté doit prendre en compte à la fois les caractéristiques de la discipline informatique elle-même et la diversité des contextes dans lesquelles elle agit, qu'il s'agisse des individus qui la pratiquent (intérêts variés des élèves, approches différentes selon le genre, hétérogénéité du corps enseignant) ou de la multiplicité des disciplines interagissantes ...

Face à cette complexité, il faut trouver des "points d'entrée" ; en voici des exemples :

- l'identité numérique (permet de gérer les données individuelles et d'assurer leur protection),
- le traitement des informations,
- la structuration des contenus numériques,
- le partage et la diffusion des données,
- la simulation et les mondes virtuels (s'intéresser par exemple aux applications médicales).

Le foisonnement d'idées quant aux approches de l'informatique dans l'enseignement est important. Il en résulte une grande variété de structurations possibles. Et il faut être bien conscients d'une difficulté intrinsèque : le monde informatique est très évolutif et ce à grande vitesse ; or l'institution scolaire recherche la stabilité !

4. Demande pour la satisfaction de laquelle il n'est envisagé pour l'instant que la mise en place d'un enseignement optionnel ; mais les besoins conduiront peut-être à l'avenir à considérer qu'une telle formation devrait être obligatoire.

3. Communication d'Alex Esbelin : Un exemple de travail en IREM sur la place des enseignants de mathématiques dans l'enseignement de l'informatique

Le groupe de travail qui fonctionne à l'IREM de Clermont-Ferrand part tout d'abord du constat de l'absence de culture commune des enseignants de mathématiques en matière d'informatique. De ce fait leur posture peut présenter tous les degrés entre une forte adhésion individuelle et un rejet complet.

En l'absence d'information sur les projets de programme pour les classes de premières et terminales, le choix de travail a consisté à créer des activités à proposer aux enseignants des lycées qui les aident à se dégager d'une attitude courante qui privilégie trop la programmation, attitude qui a pour conséquence que la question du choix d'un "bon langage" est prédominante. Il s'agit aussi de favoriser leur autonomie, les moins experts d'entre eux étant essentiellement à la recherche d'un "bon cadre", avec l'usage de "bons logiciels".

Le manque de culture informatique des enseignants de mathématiques est en particulier important sur les aspects, pourtant fondamentaux, suivants :

- étude de la pertinence de l'algorithmisation d'une procédure, avec prise en compte de l'influence de la taille des problèmes et de la taille des données (des exemples issus de la théorie des graphes peuvent être ici très utiles),
- analyse de la performance des algorithmes.

Enfin le travail doit porter sur la recherche de procédures adaptées d'évaluation, particulièrement délicate dans la mesure où on veut aussi favoriser une certaine liberté des élèves dans leur approche des problèmes, tout en les formant à une discipline de pensée à l'opposé des tentations de "bidouillage" .

4. Communication de Luc Bougé : Comment préparer les futurs enseignants de mathématiques à appréhender un enseignement de l'informatique ?

*Le diaporama utilisé par Luc Bougé pour son exposé est fourni en pièce-jointe au présent compte-rendu de débat.*⁵

Dans cet exposé, le mot "informatique" doit être compris au sens de "science de l'information", en opposition par exemple à la "bureautique" ou au "bricolage de PC". La question qui est posée ici est de comprendre comment préparer des enseignants à enseigner l'informatique à des (futurs) citoyens, en général des adolescents en lycée, en opposition par exemple à des professionnels de l'industrie du logiciel.

Pour l'instant, il n'y a pas de formation spécifique pour "produire" des enseignants d'informatique de ce type. L'exemple de l'enseignement de l'informatique en classes préparatoires a permis d'expérimenter une première mise en œuvre de l'enseignement de l'informatique à grande échelle (en fait, essentiellement les bases de l'algorithmique et de la programmation). La plupart des enseignants ont été des volontaires aux motivations très variées, le plus souvent avec une formation initiale en mathématiques ou en physique. Cette expérience a montré que l'effort de formation en informatique a été beaucoup plus important que prévu, même si l'ambition était ici minimale. L'absence de procédure de certification a malheureusement conduit à une situation très hétérogène, où l'on trouve le meilleur... et le pire !

5. Luc Bougé prévoit de publier prochainement sur ce thème un article sur le site *CultureMath* .

La formation en informatique des futurs citoyens est cruciale pour une utilisation efficace et raisonnée des outils actuels : messagerie instantanée, courrier électronique, navigateur Web, Google, traitement de texte, tableur, etc., mais aussi lave-linge, voiture, télécommande, four programmable, paiement en ligne, etc. C'est tout aussi important pour les (futurs) citoyens de connaître les grands principes de l'informatique que de connaître le principe du moteur à explosion pour conduire de manière économique ou de connaître le principe des mutations génétiques pour aborder raisonnablement la question du handicap.

En France, l'informatique est souvent vue comme une partie, voire une option des mathématiques (ce n'est pas du tout le cas dans les pays anglo-saxons où la "computer science" est vu comme une partie du génie électrique). Ceci conduit souvent les enseignants de mathématiques à négliger un élément crucial de l'approche informatique : la notion de coût. L'enseignement des mathématiques en France (là encore, à la différence des pays anglo-saxons) met beaucoup l'accent sur une approche conceptuelle, abstraite des mathématiques, en négligeant complètement la question du coût de la construction des objets et de leur manipulation : coût en temps, en espace mémoire, en précision, voire même en élégance ...

Pourtant, cette question du coût est bien présente dans les mathématiques de niveau scolaire et il serait facile de la mettre en valeur dans la formation des enseignants en mathématiques, dont certains sont les enseignants en informatique de demain.

Un bon exemple est l'éducation à la notion de preuve tout au long de la formation : schémas de base ("donc...", "si ... alors ... sinon ...", "supposons que ...", "tant que ... faire ...", récurrence ...), notion de correction (preuve "juste"), notion de performance (longueur de la preuve), notion d'abstraction (structuration hiérarchique, lemmes), notion d'élégance (goût, tradition, clarté ...).

Un autre exemple est le traitement de l'information : sa représentation (codage et décodage), sa manipulation (*Application Programming Interface*), sa hiérarchisation (approche orientée objet), son traitement (temps, espace, précision ...).

L'enjeu est donc bien de continuer à faire de bonnes mathématiques, mais dans une approche informatique où la méthode est aussi importante que le résultat. On pourrait même dire que la méthode elle-même est finalement le principal résultat. Les programmes sont des objets mathématiques comme les autres !

5. Discussion

Les points forts de la discussion sont présentés ici par thèmes et donc cette relation du débat ne suit pas nécessairement sa chronologie. Certaines interventions peuvent s'en trouver ici tronçonnées.

a. Jean-Marc Ravier, en tant que responsable de la **Commission Inter-IREM "Informatique et Mathématiques"** (CI3M), rappelle que le travail de cette commission a essentiellement été dirigé ces dernières années vers la réflexion sur les TICE (voir en particulier la revue électronique MATHEMATICE) ; mais il est tout à fait d'accord pour que la CI3M oriente à nouveau une part importante de son activité vers les liens avec un enseignement de l'informatique.

b. Jean-Claude Oriol complète la réflexion déjà entamée sur **ce qui est le propre de l’informatique** et met en évidence les notions de tri, de complexité et de preuve. Il signale qu’une enquête auprès d’informaticiens sur ce qui est spécifique dans leur travail a obtenu comme première réponse “écrire du code” mais que, en même temps, plus un informaticien monte dans la hiérarchie du service où il travaille, moins il “fait du code.” Il relève que l’idée selon laquelle, dans l’enseignement secondaire, on pourrait “faire de l’informatique” dans toutes les disciplines conduit à un échec : “les disciplines se défendent”. Il faudrait donc, selon lui, réfléchir aux structures à mettre en place pour assurer l’autonomie de cet enseignement et donc la formation de ses enseignants.

c. Il est discuté du principe même de la situation de **l’informatique en tant que discipline d’enseignement identifiée** (et de ce que sont alors ses liens avec certains chapitres des programmes de mathématiques). Paul Gastin appuie ce principe en précisant que l’idée d’un module dont la configuration est du type ISN (*Informatique et société numérique*) lui paraît excellente. Il importe de mettre en évidence la fois l’autonomie de l’informatique (avec ses caractéristiques “expérimentation” et “réalisation”) et ses liens avec les mathématiques, en particulier la **logique**.

Jacques Moisan exprime son accord avec ce point de vue. Il considère qu’il ne faut pas reculer par rapport aux avancées qu’ont été la mise en place de l’informatique en classes préparatoires (facilitée car il s’agit d’un “marché limité”) ou l’option Informatique à l’agrégation de mathématiques, qu’il qualifie de “réel succès”. Mais, même s’il existe en seconde une option du type du projet ISN, la place existe, au sein du programme de mathématiques, pour un enseignement **d’algorithmique** car la “pensée algorithmique” est essentielle pour le raisonnement en mathématiques (en revanche il n’est pas prévu actuellement en mathématiques d’enseignement de programmation). Paul Gastin va dans le même sens en précisant que la méthodologie de l’informatique est un puissant outil pour apprendre aux jeunes à “organiser leurs idées” ; ceci ne peut que favoriser leur efficacité en mathématiques.

Gérard Kuntz fait état des appréciations négatives nombreuses de professeurs en exercice sur l’évocation de l’algorithmique dans les programmes de seconde en cours de discussion. Michèle Artigue et Jean-Marc Ravier mettent en partie cette réaction sur la crainte, chez les professeurs, de “ne pas bien faire”. Ceci débouche évidemment sur le problème de la formation, initiale et continue, des enseignants.

d. Une part de la discussion est consacrée au problème du choix des **langages de programmation** utilisés dans l’enseignement. Robert Cabane et Paul Gastin se rejoignent pour voir là un “faux problème” ; la multiplicité des langages est intrinsèquement liée à la disparité des projets et le fait d’avoir un temps privilégié le Pascal a été bloquant. Le choix du groupe de travail de l’automne 2008 avait été de ne privilégier aucun langage mais de recommander comme critères de choix la facilité d’accès et la gratuité.

Catherine Taveau rappelle l’expérience de l’emploi du Logo, que sa facilité et son caractère très visuel rendaient bien adapté à son usage à tous les niveaux (dès l’enseignement élémentaire) et s’étonne qu’il ait été abandonné en France alors qu’on continue à l’utiliser dans d’autres pays. Michèle Artigue indique qu’il n’avait pas été développé de ressources en

Logo pour les enseignants, ce qui explique son échec en France ; elle précise qu'il faut en tirer la leçon.

Jacques Moisan insiste sur la caractère formateur de la pratique d'un langage de programmation. C'est là ce qui est indispensable pour le "passage à la réalité" qui est intrinsèque dans la pratique, même modeste, de l'informatique ; dans ce passage, c'est la machine qui dit oui ou non, pas le professeur. Mais il ne faut pas oublier qu'on dispose aussi pour l'enseignement d'autres pratiques de nature algorithmique que la programmation, par exemple en géométrie (allusion faite à Traceenpoche). Enfin, sur le plan institutionnel, une certaine homogénéisation des moyens est nécessaire ; cette réflexion peut se dérouler au niveau académique ; ainsi, dans certaines académies, on s'oriente vers la recommandation de Scilab.

Certains intervenants insistent sur le besoin de manuels adaptés, les seules documentations des logiciels ne pouvant suffire.

e. On ne peut éluder le problème délicat de **l'évaluation** de l'enseignement de l'informatique. Michel Fréchet déplore que, dans la filière STG, on évalue encore par "épreuve- papier" comme l'a décrit Gérard Kuntz pour l'ancienne "OI". L'accord semble unanime sur l'opinion que l'évaluation doit se faire à base de dossiers ou de "port-folios". Jacques Moisan suggère que de tels dossiers puissent être reliés à des thèmes d'études en mathématiques. De plus, une telle procédure permet de conserver pour les élèves à cet enseignement une part de "plaisir" dont Gérard Kuntz rappelle l'importance.

f. Le problème de la **formation des enseignants se pose à plusieurs niveaux**. Jacques Moisan rappelle que des commissions ont étudié à deux reprises l'éventualité de la création d'une agrégation de mathématiques, vers 1990 ("commission Finance") et vers 2000. Cette disposition n'a pas été adoptée ; il n'est pas exclu qu'elle le soit dans l'avenir, ainsi qu'au niveau du CAPES.

Ce qu'il y a plutôt lieu d'imaginer aujourd'hui, c'est une forme de "certification" complémentaire à l'informatique pour les enseignants de mathématiques. René Cori suggère que les universités réfléchissent à des formations en ce sens, qui pourraient avoir des débouchés non limités à cet enseignement.

Le plus urgent à cet égard est sans doute la mise en place de **formations continues** et là les IREM ont un rôle éminent à jouer. Le problème est le manque de personnels compétents intéressés à animer de telles formations et il semble indispensable d'établir des liens avec les enseignants et chercheurs en Informatique. Il est suggéré en particulier de s'adresser à l'INRIA⁶.

g. Catherine Taveau évoque le problème spécifique posé par "l'image masculine" de l'informatique. Il serait intéressant de mener sur ce point une réflexion en coordination avec l'association *Femmes et Maths*⁷.

6. Un courrier adressé à Michel Cosnard, PDG de l'INRIA (annoncé par J.P.Raoult dans le relevé de conclusions) a reçu de celui-ci un accueil favorable (courriel à J.P. Raoult le 24 mai 2009) ; il appartient à l'Adirem d'étudier quelle suite peut être donnée à cette première prise de contact.

7. Voir à ce sujet l'article *Les femmes face à l'informatique* de Marie-Paule Cani dans "MATAPLI", 89, p. 49-53 (juin 2009).

6. Conclusion

Ce débat a fait, dans le “relevé de conclusions” de cette séance, l’objet des phrases reproduites ci-dessous.

Le comité scientifique a vivement regretté que la présentation, par Robert Cabane, des travaux du groupe de travail qu’il a co-présidé ne puisse pas être accompagnée de la diffusion (documents sur papier ou projections d’extraits) du rapport qui en est issu, déposé vers le 15 décembre 2009 ; il considère tout à fait anormale, et contraire à la nécessité d’une large concertation dans les milieux concernés (dont les IREM), la politique du secret pratiquée à cet égard par le ministère de l’Education Nationale.

Le comité scientifique a été très intéressé par les perspectives qui lui ont été présentées d’un enseignement de l’informatique en lycées largement rénové, en fonction de l’évolution de cette discipline et de sa place dans la société, par rapport à ce qui avait été pratiqué, avec de nombreux succès, il y a entre environ vingt et dix ans. Il a apprécié les liens que pourrait entretenir cet enseignement avec celui des mathématiques, en particulier dans le domaine de la réflexion sur la preuve (démonstration, expérimentation) mais aussi été sensible au besoin de communiquer aux élèves les caractéristiques propres de la démarche informatique par rapport à la démarche mathématique, par exemple par la mise en évidence de la place centrale de la notion de “coût”.

Le caractère novateur, pour de nombreux enseignants, de l’enseignement préconisé, exigerait la mise en place de moyens importants en matière d’élaboration de ressources spécifiques et de stages de formation. La coopération des milieux de la recherche en Informatique serait à cet égard indispensable, à un niveau bien supérieur à ce qu’elle est actuellement. En particulier l’INRIA, qui se soucie de la culture informatique dans la société, pourrait être partie prenante à ces actions aux côtés des IREM⁸.

8. Jean-Pierre Raoult a adressé une lettre en ce sens, le 9 avril 2009, à Michel Cosnard, président directeur général de l’INRIA.