

Quelle aide l'informatique peut-elle apporter à l'enseignement des mathématiques ?

par

Gustave Choquet
de l'Académie des Sciences

Bernard Beauzamy
Institut de Calcul Mathématique

Le présent rapport, établi à la demande de *Digital Eq. Corp.*, concerne l'enseignement des mathématiques de la troisième à la terminale, dans les collèges et lycées d'enseignement général.

Novembre 1993

I. Méfaits et bienfaits de l'informatique.

1. De la rigueur avant toute chose.

Le rôle des mathématiques dans l'enseignement, du primaire au supérieur, est avant tout un rôle de formation : apporter des méthodes de réflexion, de pensée, apprendre à distinguer une hypothèse (ce que l'on sait) d'une conclusion (ce que l'on voudrait savoir) ; en bref, apprendre à savoir de quoi on parle, ce qui ne peut faire de mal à personne.

Au delà des méthodes, les mathématiques apportent des connaissances, utiles dans la vie courante (la règle de trois) et de plus en plus nécessaires dans beaucoup de professions, y compris celles, telles le droit ou la médecine, où elles n'intervenaient guère jusqu'à un passé récent.

Toute méthode pédagogique se doit de respecter ces deux règles : former la réflexion, apporter les connaissances.

Il faut bien se garder de confondre rigueur et formalisme. La rigueur signifie : connaître les domaines de validité des concepts sur lesquels on travaille : savoir que telle fonction n'est définie que pour $x > 0$, que tel résultat n'est vrai qu'avec une certaine approximation, que tel algorithme ne fonctionnera correctement que si la fonction sur laquelle il opère est assez régulière.

Le formalisme, c'est la codification, en symboles logiques, des hypothèses, des raisonnements, des conclusions.

Le bon professeur saura être toujours rigoureux ; il sera rarement formel. Il est légitime, et même souhaitable, de simplifier une démonstration pour la rendre compréhensible, de ne la donner que dans des cas particuliers génériques.

Le mauvais professeur (espèce heureusement très rare) privilégiera le formalisme : il dévidera “hypothèse - raisonnement - conclusion” selon un processus austère et codifié qui n’apportera ni formation (les élèves s’en lassent très vite) ni connaissances (les cibles privilégiées de ces manipulations formelles sont des mathématiques sans grand rapport avec le réel).

L’informatique est un outil, et comme tout outil, à l’origine il est neutre ; il peut devenir bon ou mauvais, suivant l’usage qu’on en fait. Nous devons donc veiller à ce qu’il respecte la rigueur, et aide à l’apport de connaissances.

2. L’informatique et la rigueur. Le rôle du professeur.

L’informatique peut contribuer à structurer la pensée : c’est en particulier le cas de la programmation. Mais cet aspect n’entre pas dans le cadre du présent rapport, limité à l’enseignement des mathématiques.

Pour nous faire les avocats du diable, illustrons d’abord les dangers qu’une mauvaise utilisation de l’informatique peut faire courir à l’enseignement des mathématiques :

- l’élève voit sur l’écran le graphe d’une fonction, et il constate que ce graphe monte. Il en déduit que la fonction est croissante.
- l’élève, pour tracer un graphe, se contente d’apprendre la syntaxe de l’ordinateur : il sait seulement qu’il aura à taper “graphe ($f(x)$)” et que la machine fera le reste.

Ces deux dangers ne sont nullement imaginaires. Dans le premier cas, la rigueur a disparu : l’élève oublie que ce qu’il voit n’est qu’un dessin approximatif, qui ne prouve rien (même si ce graphe sera utile comme guide de l’intuition et de la rigueur) ; dans le second, la compréhension a disparu : l’élève ne sait pas dessiner un graphe, et il ne comprend pas ce qu’il représente.

A l’Université d’Illinois à Urbana-Champaign, une expérience pédagogique est conduite depuis trois ans, en première années de *college* (l’équivalent d’une première-terminale pour nous) : il n’y a plus de cours magistral ; l’élève travaille devant son écran et répond à des exercices préprogrammés, en particulier sur la croissance des fonctions, en utilisant le logiciel *Mathematica*. Les signataires du présent rapport ne sont pas favorables à cette méthode d’enseignement où le premier danger apparaît en évidence : la notion de *démonstration* a disparu, et, partant, celle de rigueur.

Quand au second danger, il est illustré tous les jours par l’abus des calculettes : beaucoup d’adultes ne savent plus faire à la main une multiplication, même simple.

Pour se prémunir contre ces deux dangers, nous insistons sur le rôle du professeur, qui nous paraît absolument indispensable. Un bon enseignement doit associer la théorie et la pratique. On peut commencer par un peu de théorie, donner des exemples, revenir sur la théorie et la développer, puis donner davantage d’exemples. On peut aussi commencer par quelques exemples, qui motiveront l’élève et l’intéresseront, puis donner la théorie, et l’illustrer par d’autres exemples. Il n’y a pas d’ordre obligé, de règle prescrite, mais théorie et pratique doivent être présents, se suivre à bref intervalle, et un enseignement qui omet l’un ou l’autre est mauvais. Le professeur est le garant de la présence des deux : il enseigne la théorie, et s’aide de différents outils, dont l’informatique, pour faire découvrir la pratique. Il ne faut jamais énoncer et démontrer un théorème sans le faire suivre d’applications substantielles.

Ce cadre étant ainsi clairement posé, l’aide que l’informatique peut apporter est facile à définir. Elle tient en deux formules : aide à la compréhension, aide à l’initiative.

3. L'informatique : aide à la compréhension.

Les mathématiques, telles qu'elles sont enseignées au collège et au lycée, sont souvent beaucoup trop austères : des formules, des équations, des démonstrations, et ainsi de suite. On imagine mal un professeur de géographie qui se contenterait d'aligner des colonnes de chiffres "illustrant" les PNB par pays. Les élèves préfèrent évidemment les cartes et les diapositives. Il en va de même pour les mathématiques ; il ne faut pas oublier que les principaux concepts ont une existence physique naturelle. C'est évident pour la géométrie, mais c'est vrai aussi pour l'analyse (nombre, fonction, etc).

L'informatique apporte un merveilleux outil de visualisation. L'élève verra le graphe de la fonction, et constatera que ce graphe monte. Lorsque le professeur démontrera que la fonction est croissante (soit avant, soit après), l'élève fera le lien avec ce qu'il a vu ; il comprendra mieux la démonstration austère de la propriété $\forall x_1, \forall x_2, x_1 \leq x_2 \Rightarrow f(x_1) \leq f(x_2)$ et la retiendra mieux. Aussi, parce que son professeur le lui aura expliqué, il comprendra que ce qu'il a vu est un exemple, une illustration, mais non une démonstration, et que cet exemple peut être trompeur.

Nous lui aurons ainsi donné à la fois la *compréhension* du concept et le *goût* de la rigueur.

Bien entendu, le professeur aura d'abord expliqué à l'élève ce qu'est un graphe et comment le tracer - à la main, sur un bout de papier. Il aura expliqué en détail ce que signifient l'abscisse et l'ordonnée, et c'est seulement lorsqu'il sera assuré que l'élève a compris le mécanisme qu'il laissera la machine faire le tracé à la place de l'élève. Mais il aura à coeur d'y revenir de temps à autre, pour vérifier que l'élève n'oublie pas ce qu'il a appris.

La visualisation peut certes se faire sans informatique : un professeur peut tracer un graphe au tableau, ou montrer des transparents grâce à un rétroprojecteur. Mais ce sont des visualisations *statiques*, alors que celle qu'apporte l'ordinateur peut être *dynamique* : on peut faire varier des données, modifier des paramètres, et le dessin est instantanément recalculé. On peut aussi faire figurer sur le même écran une famille de courbes, ce qui permet de les comparer entre elles.

En géométrie aussi, l'ordinateur peut apporter une aide frappante. Imaginons que l'on veuille faire comprendre à l'élève que par trois points on peut mener un cercle. Il commencera par tracer un cercle quelconque passant par l'un des points. A l'aide de la souris, il déplacera le centre (le cercle continuant à passer par le premier point) de manière à ce que la circonférence vienne toucher le second point. Ensuite il s'apercevra que, s'il veut que le cercle continue à passer par ces deux points, il ne peut déplacer le centre que sur une droite : la médiatrice. En déplaçant le centre sur cette droite, le cercle se rétrécit ou se gonfle, et il y a exactement une position du centre pour laquelle le cercle passe par le troisième point assigné.

La manipulation des objets géométriques à laquelle l'élève vient de se livrer va l'aider dans sa compréhension ; il portera plus d'attention à l'énoncé abstrait "par trois points non alignés on peut faire passer un cercle et un seul" et le retiendra mieux.

L'informatique n'est que l'un des outils pédagogiques possibles : tableau noir et craie gardent toute leur valeur. Le professeur continuera à faire tracer par l'élève des dessins au tableau, à lui faire utiliser la règle et le compas en géométrie plane, à lui faire manipuler et construire des solides (polyèdre, cônes) en géométrie dans l'espace, mais ce seront là des représentations statiques.

Il faut bien percevoir le contraste entre un énoncé à caractère statique et un énoncé dynamique. Le premier s'obtient par "photographie" d'une figure : par exemple les trois hauteurs d'un triangle, concourantes en un même point. Le second s'obtient par des déplacements de points, des variations de paramètres. C'est le cas, par exemple, de la variation de l'angle sous lequel, à partir d'un point M du plan, on voit un segment AB donné.

La géométrie est irremplaçable pour l'intuition, et tous ses énoncés peuvent prendre une forme dynamique : c'est là que l'informatique trouvera sa place. Insistons cependant, encore une fois, sur ceci : une simulation n'est pas une démonstration.

4. L'informatique : aide à l'initiative.

Les élèves, du primaire au supérieur, sont dans l'ensemble beaucoup trop passifs : ils absorbent des connaissances (quelquefois avec plaisir, souvent à regret) mais ne participent guère à leur acquisition. Au mieux, le maître donne des exercices, ce qui permet à l'élève (mais seulement *a posteriori*) de tester ses connaissances.

L'informatique peut faciliter la découverte des concepts par l'élève lui-même. Par exemple, avant d'enseigner les racines de l'équation du second degré, le maître proposera un exercice, où, sur l'écran, l'élève devra déplacer une parabole : il constatera alors que le nombre des points d'intersection avec l'axe Ox est zéro, un ou deux. Il pourra même faire figurer d'un coup les graphes de toute une famille de fonctions. Il en va de même pour la résolution d'équations contenant $|x|$ et des paramètres. L'intérêt d'introduire un paramètre dans les discussions traditionnelles est ici très clair : il permet, au travers d'un usage dynamique de l'informatique, une exploration, une découverte, de la situation par l'élève. De même, des compléments de cours peuvent être programmés de cette manière : l'élève a ainsi le sentiment qu'il participe à une découverte. L'informatique aidera aussi l'élève à mettre en équations des problèmes d'analyse, d'algèbre ou de géométrie analytique : lorsqu'il les aura simulés sur l'écran, de manière dynamique, il comprendra mieux la mise en équations : imaginons le lancer d'une bille, représenté sur l'écran avec différents angles et différentes vitesses initiales.

Mentionnons aussi deux aides, moins primordiales, mais tout de même significatives, que l'informatique peut apporter.

5. Mise à la disposition de connaissances.

L'élève peut n'avoir pas compris un cours (distraction, absence, ou manque de connaissances) et le manuel ne suffit pas toujours à combler cette lacune. L'ordinateur pourrait y aider :

– en mettant à la disposition de l'élève une sorte de dictionnaire (ce que les spécialistes appellent "hypertexte") où les mots-clés peuvent être appelés, et donnent des définitions, assorties de théorèmes et d'exemples.

– en faisant fonctionner un logiciel de "Calcul Mathématique Assisté par Ordinateur" (en abrégé C.M.-A.O.) qui non seulement saura faire un calcul, mais encore saura expliquer comment il l'a fait, de manière compréhensible par l'élève. Ainsi, pour résoudre l'équation $|x + 2| = 2x - 1$, la machine affichera non seulement le résultat, mais encore toutes les étapes intermédiaires du calcul.

Ni l'hypertexte, ni ce type de C.M.A.O., n'existent actuellement (bien que la technologie soit maîtrisée) et on peut le regretter, car ils pourraient fournir une aide pédagogique significative. En effet, bien souvent, une seule méthode pédagogique ne suffit pas, et il est nécessaire d'en employer plusieurs pour obtenir la compréhension de tous les élèves d'une classe ; la machine, à cet égard, pourrait apporter un complément précieux aux méthodes du maître. Elle est patiente : l'élève peut l'interroger aussi souvent qu'il le désire.

Mais, pour nous, il ne s'agit que d'une aide, d'un appoint pédagogique : nous considérons la relation humaine "maître-élève" comme irremplaçable. De surcroît, le professeur apprend à ses élèves à s'exprimer, non seulement par écrit, mais oralement : il les interroge, les envoie au tableau, les critique, et cette préparation à la présentation orale est une part essentielle de la formation d'un adulte ; elle est complètement absente de la méthode pédagogique "mise à disposition de connaissances" utilisant l'informatique.

6. Aide à la rédaction.

Un problème de mathématiques, tout comme une épreuve d'une autre discipline, doit être correctement rédigé et présenté. Trop souvent, à l'heure actuelle, les brouillons des élèves sont illisibles (d'où des erreurs de "recopiage") et les versions finales sont pleines de gribouillis et de ratures. L'informatique peut fournir une aide à la présentation, sous la forme d'un "cahier de brouillon interactif".

Imaginons que l'élève fasse un calcul avec la lettre " x ", et qu'au bout de cinq lignes, il s'aperçoive que ce qu'il appelé " x " doit en réalité s'appeler " y ". Sur un papier, il barrera x et mettra y au-dessus, ce que le professeur verra avec indulgence ou exaspération, selon son humeur. Dans le cahier interactif, il reviendra simplement sur le premier " x ", mettra " y " à la place, et la machine fera la substitution partout. De manière générale, l'informatique aide l'élève à comprendre la notion de variable.

On peut également définir un format pour la présentation des résultats, des énoncés, etc. Cette aide à la présentation est importante : il faut habituer très tôt l'élève - quelle que soit la matière - à remettre un travail bien présenté.

Cette fonctionnalité "cahier de brouillon interactif" existe dans le logiciel *MathCad* (distribué par la société Uniware), mais il est plutôt destiné aux techniciens et ingénieurs qu'à l'enseignement. Il serait bon qu'elle soit incorporée à un logiciel de C.M.A.O. pour l'enseignement.

7. L'informatique pour tester les connaissances.

On ne peut actuellement tester qu'une réponse numérique, au format prédéfini. Si la réponse est $x \leq 15,20$, la machine risque de considérer comme fausse toute réponse présentée un peu différemment, par exemple $x \leq 15,2$ (pas le même nombre de chiffres après la virgule) ou $x \leq 15.20$ (notation anglo-saxonne). Un substitut est donné par les "questionnaires à choix multiples", où l'élève doit indiquer une seule réponse parmi toutes celles qui lui sont proposées. Mais aucune méthode informatique ne prend en compte la qualité du raisonnement, celle de la rédaction, celle de la présentation ; bien plus, les moyens informatiques conduisent à ne retenir que le résultat, sans se soucier de la manière dont il a été obtenu, et ceci ne nous paraît pas conforme à l'intérêt de notre discipline. Nous ne recommandons donc pas l'utilisation de l'informatique pour la vérification des connaissances.

II. Mise en oeuvre pratique.

1. L'informatique en classe de mathématiques.

On peut évidemment imaginer que le professeur dispose d'un clavier et d'un écran couplé à un rétroprojecteur. Lorsqu'il parle d'une fonction, il pianote sur son clavier, et la fonction apparaît sur l'écran. Mais de telles applications sont rares et le matériel est coûteux et difficile à mettre en oeuvre. De surcroît, l'élève à nouveau, n'aura qu'un rôle passif : c'est le professeur qui, une fois encore, fait tout le travail.

Il nous semble donc que la formule la plus efficace, à bien des égards, consiste à utiliser les ordinateurs en Travaux Dirigés (TD) où les élèves sont par petits groupes, un ou deux devant chaque machine. Le professeur, ou un moniteur spécialement affecté à cette tâche, surveille l'ensemble.

Les élèves sont beaucoup moins timides avec la machine qu'avec le professeur ; ils posent plus volontiers des questions et ne se formalisent pas d'une réponse négative (qui leur demande, par exemple, de recommencer). Ils ne se découragent qu'en cas de réponse idiote (la machine étant, par exemple, tributaire d'une syntaxe spécifique que l'élève ne comprend pas).

La durée de ces travaux dirigés pourrait varier, en fonction de la classe (de la troisième à la terminale), d'une demi-heure à deux heures par semaine.

L'avantage le plus significatif de cette formule est que les mathématiques cesseraient d'apparaître comme une discipline abstraite, pour développer leur côté expérimental, comme la physique ou la biologie, et ce serait une heureuse évolution, tant dans la façon dont elles sont perçues que dans la façon dont elles sont enseignées.

2. Le logiciel de “Calcul Mathématique Assisté par Ordinateur”.

Bien entendu, la machine ne vient pas nue, équipée de son seul système d'exploitation. Il faut disposer d'un logiciel, qui comprend les concepts du programme de chacune des classes, sait les mettre en oeuvre, et est doté de fonctionnalités pédagogiques (menu d'aide, déplacement et grossissement de graphes, correction de formules, etc). Nous avons procédé à une évaluation comparative des logiciels existants (voir le document établi à cette occasion) ; aucun d'eux n'a été conçu pour une utilisation spécifique à l'enseignement. Parmi tous ceux qui ont été testés, seul *Dérive* (conçu par Soft Warehouse, U.S.A., commercialisé en France par Nathan, en version française) est acceptable pour l'utilisation envisagée, en analyse. En géométrie plane, le choix des cobayes s'est unanimement porté sur “*Le Géomètre*” (également commercialisé par Nathan). Rappelons les fonctionnalités nécessaires :

- une syntaxe simple, identique à celle des élèves, des professeurs et des manuels, et en français,
- une prise en main facile, sans apprentissage excessif,
- une introduction des données aisée et une présentation des résultats lisible et utilisable,
- un menu d'aide bien présenté et illustré d'exemples,
- des résultats corrects sur l'ensemble du programme couvert (de nombreux logiciels commettent des fautes, ce qui est évidemment inacceptable).

Avec un tel logiciel, le professeur peut programmer des exemples pour illustrer son cours et des exercices (dont la réponse est numérique, cf ci-dessus). Il pourra aussi programmer des exemples de “découverte”, permettant aux élèves de prendre connaissance des concepts avant le cours.

Le choix d'un logiciel n'est ni essentiel ni définitif. On peut commencer avec ceux que nous avons mentionnés (*Dérive* pour l'analyse, *Le Géomètre* pour la géométrie) ; on en adoptera d'autres lorsque de meilleurs seront disponibles, tout comme on change de manuel. C'est un état d'esprit qui compte et il faut se garder d'être prisonnier d'un logiciel unique.

3. Le matériel informatique.

Des ordinateurs individuels (de type PC 386 ou 486) conviennent très bien pour ces tâches, pourvu qu'ils aient : une mémoire vive suffisante (au moins 3 Mo), une taille de disque suffisante (au moins 100 Mo, si l'on utilise Windows). Une souris est indispensable pour les déplacements et constructions graphiques.

III. La formation des maîtres à l'informatique pour l'enseignement des mathématiques.

Il faut distinguer trois types de formation : savoir utiliser la machine, savoir utiliser le logiciel, et un apprentissage pédagogique : comment utiliser le logiciel pour l'enseignement.

1. Savoir utiliser la machine.

Très peu, parmi les enseignants du secondaire, sont familiers avec le système d'exploitation des ordinateurs individuels (MS DOS). La solution la moins intelligente consiste à distribuer dans les lycées ou collèges des ordinateurs qui ne servent à rien et dont personne ne sait se servir ; ils vont pourrir, moisir ou rouiller, selon le matériau dont ils sont constitués. Cette erreur a déjà été commise.

Il convient au contraire de fournir à un lycée ou collège un petit nombre de machines pour commencer (dix ou vingt : l'équipement d'une seule salle), toutes identiques et pourvues du même système d'exploitation. Chaque machine viendrait accompagnée d'un petit livret (10 pages au maximum) décrivant les principales

commandes (à titre de comparaison, les livres décrivant MS DOS dépassent tous 100 pages à l'heure actuelle). De surcroît, le constructeur, ou le vendeur, assurerait un cours de formation au début de l'année : une heure suffit largement pour que les professeurs se familiarisent avec les commandes de base du système d'exploitation.

Signalons à cet égard que plusieurs de nos cobayes ont rencontré de très sérieuses difficultés, simplement pour l'installation du logiciel qui leur était fourni. L'utilisation d'un logiciel de C.M.A.O. passe d'abord, insistons-y bien, par une familiarisation avec le système d'exploitation de la machine.

2. Savoir utiliser le logiciel.

Là, en revanche, ni pour *Dérive* ni pour *Cabri-Géomètre*, nos cobayes n'ont rencontré de difficultés. Chacun des deux vient avec un petit livre (édité par Nathan), qui semble suffire à une autoformation.

3. L'apprentissage pédagogique.

C'est évidemment là qu'est la principale difficulté : il ne suffit pas de disposer d'une machine équipée d'un logiciel pour en faire un outil pédagogique. Il y a tout un apprentissage à mener : quels concepts illustrer ? Comment y parvenir ? Comment programmer les exemples ?

Les professeurs de l'enseignement secondaire sont ouverts à l'idée d'utiliser des moyens pédagogiques nouveaux, et de rendre leur enseignement plus vivant et plus concret. L'informatique, cependant, ne jouit pas d'une très bonne image de marque : des excès ont été commis, et l'on a cru - ou feint de croire - qu'il suffisait de mettre des ordinateurs partout pour que s'efface toute la misère du monde.

Notons tout de même que les machines ont beaucoup progressé, et sont d'utilisation plus facile. Les constructeurs prennent davantage en compte les besoins des utilisateurs, de manière générale. Mais les besoins de l'enseignement sont spécifiques, et devront faire l'objet d'une étude spécifique, comme le montre l'exemple des manuels, cité plus haut.

Il ne nous paraît ni possible ni souhaitable d'introduire un outil pédagogique aussi nouveau sur une grande échelle. Nous préconisons au contraire une formation par petits groupes, dans chaque lycée ou collège, et même, pour commencer, dans *quelques* lycées ou collèges.

La première année, deux ou trois professeurs (des volontaires intéressés), "amorcent la pompe". Ils sont déjà un peu familiarisés avec l'informatique, ou désireux de le devenir. Ils ont accès à une salle équipée de 10 à 20 PC, munis des logiciels correspondants. Ils reçoivent au début de l'année une petite formation (rémunérée en heures complémentaires), dispensée soit par le constructeur, soit par l'éditeur des logiciels, soit par un représentant qualifié de l'Education Nationale. Chaque mois (pas nécessairement chaque semaine), ils amèneront leurs élèves en salles de TD et leur feront faire des exercices. En même temps, ils initieront leurs collègues intéressés par cette nouvelle pédagogie.

Il est important que les professeurs qui assurent la formation de leurs collègues reçoivent un complément de rémunération, sous forme d'heures complémentaires, et que cette initiative soit prise en compte pour leur avancement.

La seconde année, les professeurs ainsi formés constitueront de petits groupes de travail avec ceux qui les auront initiés, et ainsi de suite.

Il est important d'assurer le suivi des professeurs, et ce peut être le rôle des IREM. Au sein des IREM, les professeurs constituent souvent de petites équipes, réfléchissant autour d'un thème pédagogique particulier : l'enseignement mathématique assisté par ordinateur peut constituer l'un des ces thèmes. On peut organiser des conférences, rédiger et diffuser des bilans, aidant ainsi au suivi et au succès de l'expérience. Ajoutons aussi que cette participation serait bénéfique pour les IREM eux-mêmes, en y apportant une activité nouvelle.

Insistons aussi sur le rôle du proviseur dans chaque établissement. C'est lui qui peut favoriser et coordonner les initiatives individuelles, prévoir les horaires pour les TD et les cours de formation, encourager la création d'équipes pédagogiques. Il a les moyens, juridiques et matériels, de mettre en place une innovation pédagogique comme celle que nous décrivons ici.

On peut également, très facilement, concevoir un journal de liaison où les professeurs recevraient des conseils, trouveraient des exemples et des exercices types, et pourraient poser des questions. Ce journal pourrait être géré par les IREM, avec le soutien des constructeurs informatiques et des éditeurs de logiciels. Le Bulletin de l'APMEP (Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public) peut aussi jouer un rôle actif.

4. L'apprentissage à l'Université.

Pour les nouvelles générations, la découverte de l'informatique comme outil pédagogique doit se faire à l'Université. C'est en licence que le futur professeur devra recevoir cette initiation. Chaque Université devrait mettre en place, à partir de la licence, un enseignement de *Calcul Mathématique Assisté par Ordinateur* : un tel enseignement est utile pour les futurs professeurs ; il est indispensable pour les futurs ingénieurs. Il ne s'agit pas, notons-le bien, d'une modification du contenu de l'enseignement traditionnel (ce sont les mêmes matières qui sont enseignées) mais d'une modification des méthodes d'enseignement : il s'agit de rendre les mathématiques plus vivantes, plus expérimentales, tout en respectant les règles que nous avons rappelées plus haut.

IV. Conclusion.

Nous nous sommes efforcés de délimiter clairement le "champ d'action" de l'informatique : elle ne doit pas nuire à la rigueur, mais la renforcer ; elle ne doit pas empiéter sur le rôle du maître, mais mieux l'utiliser. Si ces prescriptions sont observées, l'informatique peut jouer un rôle bénéfique considérable, et grandement faciliter la compréhension et l'assimilation des mathématiques, matière souvent jugée austère et ingrate.

Ni les logiciels ni les méthodes pédagogiques ne sont vraiment au point ; les uns comme les autres ne se développeront qu'avec la pratique. Nous recommandons donc de commencer petit : quelques volontaires, dans quelques lycées, qui formeront à leur tour des équipes pédagogiques. Des essais en ce sens existent déjà, en général sous forme de bénévolat : il faut les coordonner, les encourager, les étendre. Prise de cette façon, l'expérience est sans danger et facile à gérer.

L'Education Nationale opère souvent par réformes brutales : on impose à des professeurs d'enseigner d'un seul coup des concepts nouveaux (comme les "mathématiques modernes" ou les probabilités) qu'ils ne maîtrisent pas. Peut-être la nouvelle décentralisation, se traduisant par une meilleure autonomie des établissements et associant les collectivités locales, permettra-t-elle au contraire la voie que nous préconisons : introduire les idées et les méthodes nouvelles en douceur, de manière progressive, en commençant par un très petit nombre que l'on suit, que l'on coordonne et que l'on encourage.

V. Remerciements.

Les auteurs tiennent à remercier les participants au groupe de travail d'où ces idées sont issues : M. Antoine Bastianelli, M. Alain Bohec, M. Thierry Gély, M. Hervé Lehning, Mme Odile Mariano, Mlle Christine Martin, Mme Elisabeth Noël, M. Daniel Perrin, M. Jean-Paul Petit, M. Jean-Pierre Pouget, Mme Isabelle Saunière, M. André Warusfel.