

MARC LEGRAND

L'introduction du débat scientifique en situation d'enseignement

Publications de l'Institut de recherche mathématiques de Rennes, 1988-1989, fascicule 5
« Didactique des mathématiques », , exp. n° 3, p. 1-16

<http://www.numdam.org/item?id=PSMIR_1988-1989__5_A3_0>

© Département de mathématiques et informatique, université de Rennes,
1988-1989, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la série « Publications mathématiques et informatiques de Rennes » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

L'INTRODUCTION DU DEBAT SCIENTIFIQUE EN SITUATION D'ENSEIGNEMENT ⁽¹⁾

Marc LEGRAND

Equipe de recherche en didactique des mathématiques et de l'informatique
et groupe de recherche sur la démarche scientifique à l'I.R.E.M. de Grenoble.

avec la contribution de D. ALIBERT, D. GRENIER, F. RICHARD : jeune équipe C.N.R.S. de
Didactique des Mathématiques et de l'Informatique de Grenoble.

INTRODUCTION

Un constat paradoxal:

La très grande majorité des enseignants de mathématiques, qu'ils soient du secondaire ou a fortiori du supérieur, considèrent l'approfondissement en compréhension des concepts de base, la familiarisation avec des raisonnements complexes et rigoureux, bref l'initiation à la démarche scientifique, comme le fondement, la marque-même de validité, l'aboutissement de tout enseignement scientifique.

Or, lorsqu'on regarde les pratiques d'enseignement, on constate que ce n'est pas- et de loin- sur ces aspects que porte l'essentiel de l'effort didactique et pédagogique.

Tout se passe comme si ces aspects fondamentaux n'étaient pas reconnus comme des "faits d'enseignement", comme des formes de connaissances "explicitement enseignables", mais seulement comme des attributs naturels, des "résultats en plus" qui seraient l'apanage, le signe de la réussite de ceux qui ont compris et les distingueraient très fortement du lot de ceux qui ont seulement appris !

NOUS ANALYSONS CE PARADOXE DE LA FACON SUIVANTE :

Parmi les connaissances d'un programme, seules sont explicitement enseignées celles à propos desquelles a pu être identifié un processus complet d'enseignement : présentation non acrobatique d'un corps de savoir bien cerné, donnant lieu à un ensemble d'exercices et problèmes "faisables" par les étudiants et "corrigeables" par les enseignants, le tout permettant des contrôles normalisés évaluant les acquis.

Or les connaissances fondamentales dont nous parlions précédemment rentrent mal dans cette catégorie de "savoirs explicitement enseignables" ; par suite elles se trouvent partiellement délaissées dans l'enseignement, alors qu'elles sont au coeur-même des préoccupations des enseignants.

A PARTIR DE CETTE ANALYSE ET POUR TENTER DE REDUIRE CE PARADOXE, NOUS ETUDIONS L'INTRODUCTION DU DEBAT SCIENTIFIQUE EN SITUATION DE COURS COMME UN OUTIL DIDACTIQUE SUSCEPTIBLE D'ELARGIR LE CHAMP DES CONNAISSANCES "EXPLICITEMENT ENSEIGNABLES".

L'exposé suivant se décompose en deux parties bien distinctes:

-DANS LA PREMIERE PARTIE, nous partons d'observations effectuées dans l'enseignement secondaire et dans l'enseignement supérieur et, nous référant à un certain nombre d'hypothèses cognitives largement admises en didactique des mathématiques, nous tentons

(1) Cet exposé a été également présenté à la 4ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques
30 juin - 5 juillet 1986, Orléans.

d'expliquer les modifications profondes qu'il nous paraît indispensable d'apporter au contrat didactique, c.à.d que nous essayons de définir le cahier des charges d'un système didactique qui voudrait réellement prendre en compte l'apprentissage de la démarche scientifique.

Cette première partie tente donc de montrer la nécessité d'introduire une forme de débat scientifique en situation d'enseignement.

-DANS LA DEUXIEME PARTIE, nous appuyant sur l'expérience menée depuis plusieurs années en DEUG A1 à Grenoble, expérience observée et analysée depuis deux ans par notre groupe de recherche, nous tentons de caractériser ce que l'on peut appeler "débat scientifique en situation d'enseignement", les conditions de son apparition et les différentes formes qu'il peut prendre, son impact sur l'attitude de l'étudiant et celle de l'enseignant face à la connaissance et en particulier vis-à-vis du sens de la preuve et de la démonstration.

En guise de conclusion provisoire, nous mettrons en évidence quelques-unes des questions auxquelles notre groupe de recherche se trouve actuellement confronté.

D'autres expériences de "débat ou discussion scientifique" ont été menées indépendamment dans le secondaire (I.R.E.M DE GRENOBLE 1986) ou au C.N.A.M à PARIS (Y.PACQUELIÉ ET J.PH DROUHARD 1986); elles apportent des éclairages complémentaires et pour le moment ne semblent pas infirmer les conclusions auxquelles nous arrivons ici.

Mais pour être prudent, disons que le présent exposé s'adresse plus au chercheur en didactique des mathématiques qu'à l'enseignant. En effet les orientations que nous présentons nous paraissent très importantes à tester et à approfondir, mais elles ne peuvent aucunement être considérées comme la présentation de techniques pédagogiques largement éprouvées et directement reproductibles dans diverses situations d'enseignement (ne serait-ce que parce qu'une bonne partie du dispositif pédagogique mis en place dans ces expérimentations n'est pas décrite ici).

PREMIERE PARTIE

A) QUELQUES OBSERVATIONS SUR LES COMPORTEMENTS D'APPRENTISSAGE DES ELEVES DU SECONDAIRE ET DES ETUDIANTS DU SUPERIEUR

1) OBSERVATION SUR LA DEGENERESCENCE DU SENS:

Quand on étudie ce qui se passe dans les classes depuis la sixième jusqu'en fin de maîtrise de mathématiques, on constate que plus le niveau scolaire est élevé, plus importante est la proportion des élèves qui donnent la priorité au syntaxique sur le sémantique !

En d'autres termes, il semble que plus l'élève va à l'école, plus il attache du prix à la connaissance et à la maîtrise d'algorithmes puissants, même (et cela semble d'autant moins le gêner qu'il en est à un stade plus avancé de ses études) s'il ne comprend pas très bien ce que représentent ces algorithmes et les raisons pour lesquelles ils sont ou non bien adaptés pour traiter les problèmes.

En bref, tout semble dire que les étudiants se constituent progressivement une épistémologie que l'on pourrait qualifier de purement scolaire (par exemple : "les équations c'est utile et important, parce qu'il y en a toujours à l'examen !"), épistémologie que j'opposerai à ce qu'on pourrait appeler une "épistémologie positive" (par exemple : "les équations c'est utile et important parce que c'est une façon de coder, de quantifier l'information, codage quantifié

qui permet dans bien des cas de trouver les solutions d'un problème concret!") .

De façon un peu caricaturale , on peut dire que la philosophie qui découle logiquement de l'apprentissage scolaire classique des mathématiques est à peu près la suivante : "pour présenter les signes extérieurs du savoir il n'est pas vraiment nécessaire , il est parfois même peu efficace , de comprendre en profondeur ce que l'on fait et pourquoi par une autre méthode on serait mieux ou moins bien placé pour résoudre le problème; pour réussir les contrôles il suffit le plus souvent de savoir appliquer le bon algorithme au bon endroit et chacun sait qu' il existe en sciences de nombreux marqueurs (les notations en particulier) qui indiquent ce qu'il faut faire et le moment où il faut le faire ".

2)OBSERVATIONS SUR L'ABSENCE DE BESOIN DE PREUVE ET LE PEU D'ENGOUEMENT POUR LA DEMONSTRATION

Chacun a pu constater que les élèves , en situation scolaire , ne sont pas très exigeants au niveau de la preuve . Quand ils trouvent un résultat , ils l'affirment , ils n'argumentent et ne démontrent que si on l'exige de leur part ; d'ailleurs ils sont très peu critiques vis à vis d'un raisonnement (que ce soit le leur ou celui d'un autre).

Tout comme pour la recherche du sens , il semble que la preuve et la démonstration ne constituent pas pour la majorité d'entre eux un outil efficace et nécessaire pour résoudre les problèmes.

Pour tenter de comprendre ce peu d'engouement pour les raisonnements de preuve et de vérification , on peut se poser les questions :

- quel est le sens du vrai en classe?
- quelle place y a-t-il pour l'incertitude ?
- à quoi la preuve sert-elle?

A partir de ces questions , nous avons observé les phénomènes suivants :

-la vérité en classe est institutionnelle , ce sont le maître et le livre qui l'incarnent!

-l'incertitude est "mal venue, mal vue " en situation d'enseignement tant par le maître que par les élèves .

-Les CONJECTURES , ces énoncés provisoires dont on pense qu'ils sont vrais , mais dont on n'est pas certain , n'existent pratiquement pas en classe ; on enseigne des définitions , des axiomes , des théorèmes , c'est-à-dire des énoncés qui sont explicitement désignés comme des propositions vraies et ce , bien souvent avant même que l'élève ne sache ce qu'elles proposent !

Dans ces conditions on comprend mieux que l'utilité , la fonctionnalité , la nécessité de la preuve scientifique ne soient pas évidentes pour la plupart des élèves , puisqu'elle peut leur apparaître comme un moyen redondant et fatigant d'attester la vérité d'assertions dont ils savent par ailleurs institutionnellement qu'elles sont vraies!

3)OBSERVATION SUR LA DECONNECTION ENTRE CONNAISSANCE SCOLAIRE ET COMPETENCE PROFESSIONNELLE

Le fait que la compréhension de la méthode scientifique soit absente de la préoccupation de la plupart des élèves effectuant néanmoins des études scientifiques a , comme nous l'avons déjà signalé, pour principale conséquence néfaste la constitution d'une épistémologie purement scolaire qui les amène à penser que les acquisitions de l'école ne sont pas exportables en dehors de celle-ci ; en particulier il leur apparaît comme tout à fait utopique de considérer que les raisonnements

et démarches effectués en mathématiques puissent servir à autre chose qu'à faire des mathématiques!

A ce niveau nous ne pouvons pas, nous semble-t-il, placer ces observations et cette recherche à l'extérieur du contexte socio-culturel dans lequel les élèves et les étudiants sont actuellement et surtout se trouveront quand ils arriveront sur le marché du travail.

En effet, indépendamment de l'aspect un peu dérisoire que constitue le fait de proposer des études scientifiques longues et coûteuses à des étudiants qui dans leur majorité ne comprennent pas véritablement le sens de ce qu'ils apprennent (et qui par suite vont avoir énormément de mal à réinvestir leurs apprentissages scolaires dans leur vie professionnelle), nous considérons que le pari sur l'avenir qui est inconsciemment pris en perpétuant cet état de fait est trop risqué quant aux générations futures pour que les chercheurs en didactique ne se risquent pas eux aussi dans l'étude et la mise en évidence d'une alternative positive!

Bien sûr, on peut se rassurer en disant: "ça n'est peut-être pas très fameux, mais on n'y peut pas grand'chose !...et... de toutes façons pourquoi noircir le tableau de cette sorte?, ça ne marche pas si mal! ... les trains partent et arrivent à l'heure ..les fusées décollent etc.etc ..."; mais ce faisant, ne pratique-t-on pas la politique de l'autruche en refusant de prendre en compte l'évolution des techniques?

En d'autres termes, constatant les ravages que provoque sur le marché du travail manuel l'arrivée en masse de la robotique, nous faisons l'hypothèse que sans une évolution très profonde de l'enseignement scientifique de masse il en sera de même sur le marché du travail intellectuel avec l'arrivée en force de l'informatique.

En tant que chercheurs en didactique des mathématiques nous ne pouvons nous soustraire à la question cruciale suivante: " Qui embauchera des personnes au titre de connaissances dont ils ne saisissent pas suffisamment la signification pour pouvoir les modifier et les adapter? Qui acceptera de payer un travail intellectuel de reproduction et d'application directe que l'ordinateur pourra effectuer mieux et pour beaucoup moins cher? "

Tel est l'enjeu social qui aiguillonne nos observations et notre recherche et qui explique pourquoi nous avons été amenés à remettre si fondamentalement en question certains aspects du dispositif didactique classique, aspects qui ont néanmoins par ailleurs fait leurs preuves d'efficacité pour certains types d'apprentissage!

B) HYPOTHESE COGNITIVE:

Nous partons de l'hypothèse Piagétienne très largement admise en didactique des mathématiques, suivant laquelle l'élève construit essentiellement ses connaissances par un jeu de déséquilibre-rééquilibration en interaction permanente avec le milieu: situations-problèmes, maître, camarades etc.

Nous admettons aussi que les connaissances acquises en milieu scolaire sont d'autant plus stables et performantes qu'elles ont été établies sous plusieurs aspects (en jouant sur plusieurs cadres pour reprendre la terminologie de R. DOUADY 1984).

Le système didactique que nous mettons en oeuvre dans l'instauration du débat scientifique en situation de cours s'appuie, en l'adaptant, sur la théorie des situations mise en évidence par G. BROUSSEAU (1981), et les techniques que nous avons été amenés à contrôler en vue de provoquer une nécessité de preuve et d'argumentation

trouvent pour une grande part leur fondement théorique dans les travaux exposés par N. BALACHEFF (1984).

Nous complétons les présupposés précédents par deux hypothèses (ces hypothèses vont peut-être de soi pour la plupart des chercheurs, mais comme leurs conséquences sur le plan de l'enseignement posent de gros problèmes, il n'est pas mauvais de les préciser.)

1ère Hypothèse :

Contrairement à une opinion très répandue dans les milieux scientifiques et notamment en mathématiques pures, nous ne pensons pas que la compréhension réelle du sens de la démarche scientifique soit réservée à une petite élite qui serait "congénitalement prédisposée" à donner du sens à ses apprentissages ; en d'autres termes, nous conjecturons que la grande majorité des étudiants qui entreprennent des études scientifiques sont capables de comprendre efficacement le sens profond de la démarche scientifique et peuvent, à partir du moment où ils en découvrent l'utilité, accéder à un niveau de conception et d'adaptation nettement supérieur à celui des applications immédiates et automatiques de la théorie.

Dans le début de cet exposé, nous nous sommes attachés à montrer que progressivement, à l'intérieur du cadre scolaire, la majorité des élèves cherchent de moins en moins à découvrir le sens profond de leurs apprentissages. Toutes les observations que nous avons effectuées dans le secondaire comme dans le supérieur montrent que cet état de fait a des raisons structurelles stables qu'il serait bien naïf de vouloir négliger, mais diverses expérimentations notamment celle que nous menons actuellement en premier cycle d'université montrent que cet état de fait n'est ni inéluctable ni irréversible.

2ème Hypothèse :

Plus on s'adresse à des élèves âgés, plus on veut aborder des concepts et des démarches complexes et abstraites et plus il est nécessaire (pour que l'apprentissage soit efficace c.à.d réinvestissable dans d'autres situations) d'être très explicite tant sur le sens de ce qu'on est en train de faire que sur le type d'apprentissage que l'on cherche à produire.

Nous pensons que des concepts fondamentaux comme ceux par exemple d'équation, de différentielle, d'intégrale ne peuvent être réellement appréhendés par l'étudiant que s'il se constitue à leur sujet une épistémologie positive. En d'autres termes, l'étudiant ne pourra s'approprier tel ou tel de ces concepts que s'il parvient à identifier un certain nombre de situations dans lesquelles c'est, non pas miraculeusement, mais en raison-même de la spécificité du concept en question, qu'il s'avère opérant de le faire intervenir pour résoudre tel ou tel problème.

Cette épistémologie positive que nous considérons comme constitutive des principaux concepts scientifiques, la majorité des étudiants ne la construisent pas spontanément, même s'ils sont confrontés à diverses situations-problèmes adaptées ; pour que cette construction ait effectivement lieu, il faut une action didactique spécifique.

C'est la raison pour laquelle nous cherchons à mettre en place un dispositif didactique qui donne une place fonctionnelle importante au "méta-mathématique", de façon à pouvoir agir explicitement sur les représentations des étudiants A. ROBERT (1986).

C'est donc pour constituer un dispositif didactique faisant simultanément intervenir le jeu de cadre, le conflit cognitif et

l'action explicite et dialectique sur les représentations , que nous étudions les conditions d'instauration du débat scientifique en situation d'enseignement.

C) TROIS CONJECTURES DE NECESSITE POUR LA CONSTITUTION D'UN SYSTEME DIDACTIQUE QUI PRENDRAIT REELLEMENT EN CHARGE L'INITIATION A LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE :

Une didactique qui permettrait une réelle initiation à la démarche scientifique , c.à.d qui permettrait à la majorité des étudiants de comprendre la signification des algorithmes qu'ils utilisent et de se constituer à leur sujet une épistémologie positive , devrait à notre sens vérifier les trois conjectures de nécessité suivantes:

CONJECTURE SUR LA NECESSITE DE LA PREUVE

Pour créer la nécessité de la vérification ,de la preuve et de la démonstration , il faut laisser s'installer , voire provoquer en classe de grandes plages d'incertitude scientifique!

En d'autres termes le " vrai scientifique " ne peut prendre son sens qu'à l'intérieur de l'identification et de la reconnaissance explicite du "faux scientifique" ; un véritable " faux scientifique " c.à.d celui qui , au niveau du langage et du raisonnement ordinaire , a toutes les apparences du vrai!

CONJECTURE DE LA NECESSAIRE PRIMAUTE DU CONCEPT SUR L' ALGORITHME

Lorsqu'un concept mathématique s'accompagne d'un algorithme puissant, l'enseignement de l'algorithme doit être freiné pour ne pas provoquer l'avortement du concept .

En d'autres termes nous conjecturons que l'introduction précoce de l'algorithme performant (introduction qui est très satisfaisante a priori sur le plan efficacité de l'enseignement) est un obstacle à la constitution du concept ; l'algorithme se substitue alors au concept , il rend inopérant la constitution d'une épistémologie positive de ce concept et après coup de l'algorithme lui-même : " pourquoi chercher à comprendre pourquoi ça marche , comment ça marche , et pourquoi ça ne marcherait pas si on s'y prenait autrement , puisque ça marche ! "

Par exemple la simplicité de l'algorithme de résolution d'une équation du premier degré est un obstacle à la compréhension du concept d'équation ; l'efficacité du calcul des dérivées est un obstacle à la compréhension du concept de différentielle ; l'heuristique attractive du calcul des primitives est un obstacle à la formation du concept d'intégrale etc. (et paradoxalement c'est parce que ces algorithmes simples existent que ces concepts sont si performants!)

Pour se persuader de ces faits , si c'était nécessaire , il suffirait de se reporter à l'étude faite par M.ARTIGUE et L. VIENNOT (1985) sur la compréhension de la notion de différentielle par des étudiants de fin de licence de mathématiques .

CONJECTURE DE NECESSITE DE LA RECHERCHE, POUR L'APPROPRIATION DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ELABOREES.

L'héritage scientifique ne peut être réellement transmis qu'aux

membres de la communauté scientifique.

En d'autres termes nous conjecturons que si l'étudiant ne rentre pas dans la problématique du chercheur, s'il ne devient pas lui-même à certains moments chercheur, il ne peut s'approprier dans leur signification les connaissances scientifiques de haut niveau qu'il est censé acquérir.

C) LES PRINCIPALES MODIFICATIONS DU CONTRAT DIDACTIQUE QUE NOUS AVONS ETE AMENES A NEGOCIER AVEC LES ETUDIANTS ET LE CAHIER DES CHARGES QU'IL NOUS PARAÎT NECESSAIRE DE REMPLIR POUR QUE S'INSTAURE EN SITUATION DE COURS UN DEBAT SCIENTIFIQUE SUSCEPTIBLE DE PROVOQUER LES APPRENTISSAGES PRECEDENNENT EVOQUES COMME PRIORITAIRES

1) Prioritairement il nous est apparu comme indispensable de supprimer les indicateurs de vérité systématique.

En particulier, étant donné que traditionnellement le maître connaît les réponses et ne se trompe pas, et que par contrat les élèves ont la certitude qu'il pose des questions qui ont une réponse et auxquelles un bon élève doit pouvoir répondre, il est indispensable que le maître accepte de modifier vis-à-vis des élèves comme de lui-même son statut et que soit progressivement renégociée cette clause du contrat qui le fige dans la position de détenteur quasi exclusif et incontestable du vrai et du faux.

En effet, dès lors que le maître n'est plus considéré comme l'unique garant de la validité scientifique de ce qui se dit et de ce qui s'écrit dans la classe, il peut devenir le médiateur neutre mais indispensable des propositions scientifiques des étudiants : organisateur de la prise de parole, il invite à la formulation des propositions, il les officialise, les rend discutables par leur écriture au tableau, il les codifie de façon à les dépersonnaliser, ce qui ne signifie nullement qu'il les cautionne ou les désigne à la vindicte de la classe.

Il rend ainsi les différentes propositions des étudiants discutables par l'ensemble des participants et non pas seulement par les rares étudiants qui ont suffisamment entendu ce qui se disait et compris de quoi il s'agissait pour pouvoir en reparler scientifiquement et non pas idéologiquement ou affectivement!

A ce niveau il nous est apparu que la réserve et la neutralité du maître sur le plan "réponse aux questions mathématiques du type vrai/faux" devaient être compensées sur le plan "apport cognitif" par une intervention importante sur le plan "méta-mathématique et méta-cognitif":

qu'est-ce qui est intéressant ici ?

qu'est-ce qui va néanmoins pouvoir nous réserver dans cette démarche bien qu'elle soit erronée?

qu'est-ce qu'on est en train de faire ?

où va-t-on ? qu'est-ce que l'intervention d'un tel sous-entend ?

qu'est-ce qu'on est en train de comprendre ou d'apprendre ?

à quoi cela sert-il de le faire et de passer du temps à le faire?

etc., etc.

Le fait que le maître se soit libéré de son rôle de garant du vrai et du faux scientifique facilite énormément cette prise de distance par rapport à la situation-problème et lui permet de jouer son rôle institutionnel "au niveau méta", et par suite de jouer sur les représentations des étudiants et de les aider à se constituer une épistémologie positive des concepts en jeu dans la situation.

Dans son rôle traditionnel d'unique garant du vrai et du faux, le maître est très gêné pour pratiquer cette action réflexive sur la démarche de la classe, car il est en même temps juge et parti ; il peut ce faisant avoir l'impression de faire du nombrilisme ou de chercher à "vendre sa marchandise", d'où une certaine pudeur naturelle, une certaine réserve qui lui interdisent ce type d'interventions ; interventions que nous considérons dans notre optique "initiation à la démarche scientifique" comme primordiales, car seuls quelques très rares étudiants peuvent d'eux-mêmes se poser ce type de questions.

2) En deuxième lieu nous considérons comme fondamental de donner un statut officiel à l'incertitude !

Pour cela il faut se donner les moyens de pouvoir discuter scientifiquement de ce dont on n'est pas certain, sinon l'étudiant aura toujours tendance à masquer ses propres incertitudes et ne parviendra pas de ce fait à les réduire.

Il faut pouvoir identifier et expliciter les théorèmes en acte (VERGNAUD 1983), et pouvoir les nommer autrement que par le mot théorème puisque bien souvent ils sont erronés.

Nous avons donc été amenés à donner un rôle primordial au concept de CONJECTURE.

C'est ainsi que dès qu'une idée, un début de proposition, une affirmation fait surface, le maître doit nous semble-t-il en réclamer une formulation conjecturale à son auteur, afin de ne pas la laisser sous une forme imprécise qui la rend indiscutable par les autres étudiants.

Une fois officialisée par son écriture au tableau sous forme de conjecture (ce qui ne préfigure absolument pas de son caractère de vérité), la communauté classe et non le maître seul doit prendre une décision à son sujet :

- l'idée, le sens de cette conjecture, sont-ils actuellement importants et pertinents pour nous ?

- Si oui, cherchons à déterminer son caractère de vérité (la preuve devient fonctionnelle à ce niveau pour l'ensemble des personnes qui ont jugé que l'idée sous-tendue par cette conjecture était intéressante à exploiter) ;

- Sinon, ne perdons pas plus de temps à discuter là-dessus (à moins que bien entendu, cette conjecture ne constitue un théorème-en-acte pour un certain nombre d'étudiants qui veulent à tout prix savoir si oui ou non c'est un énoncé exact), l'épistémologie fondamentale résultant normalement de ce type de discussion étant la suivante: "en sciences les énergies que l'on accepte de consacrer à l'étude de la vérité d'un énoncé doivent être en rapport avec son degré d'utilité et les risques encourus en cas d'erreur".

3) En troisième lieu il faut instaurer un climat permettant une discussion et un débat réellement scientifiques avec des étudiants c.à.d des personnes qui ne sont pas encore des professionnels de la science.

En d'autres termes le maître et les élèves doivent accepter de mener la discussion à un double niveau:

- tolérance devant l'incertitude, les maladresses, les erreurs de gens qui apprennent et découvrent laborieusement des résultats que le maître aurait pu raconter beaucoup plus rapidement, clairement, rigoureusement s'il s'était contenté de livrer tout emballé l'héritage scientifique !

- rigueur : car on n'est pas là pour se faire des courtoisies, pour bavarder et faire des mathématiques de salon, il s'agit en fin de

compte de provoquer un solide apprentissage scientifique permettant de résoudre des problèmes!

L'étudiant doit, pour s'exprimer et prendre la parole, pouvoir le faire dans le langage courant et à partir des préoccupations qui sont les siennes. C'est le débat (et notamment sa régulation par l'écriture au tableau des points de discussion) qui doit progressivement apporter les exigences de précision, de rigueur et de méthodologie scientifique.

Ce sont les malentendus qui apparaissent au cours du débat entre ce que pense X et ce qu'en a saisi Y, qui doivent mettre en évidence la présence d'implicites et de théorèmes-en-acte qui empêchent de comprendre, tant qu'ils n'ont pas été identifiés et discutés.

4) Il faut provoquer l'engagement scientifique de l'étudiant!

C'est notamment le rôle de la formulation et de l'écriture des conjectures au tableau ainsi que des votes à leur sujet, obligeant chaque étudiant à prendre parti : "-je pense que c'est vrai !

-je pense que c'est faux!

-je ne suis pas en mesure de décider."

Il est important de noter que l'engagement que réclame le débat scientifique en situation d'enseignement n'est pas du tout de même nature que celui que nécessite la réalisation d'un exposé.

En effet dans un exposé l'étudiant ne s'engage pas sur ses propres convictions, il explique des idées et des résultats dont la responsabilité scientifique incombe principalement aux auteurs des manuels qu'il a consultés.

Dans le débat scientifique, par contre, l'étudiant s'engage sur ses propres convictions avec comme seul recours sa capacité d'argumenter pour défendre son point de vue. Cet aspect du débat est primordial pour donner un sens, une fonctionnalité à la preuve et à l'argumentation.

5) Il faut parvenir à une véritable dévolution de l'autorité et de la compétence scientifique!

Il faut que la situation de débat fasse la preuve empirique auprès de chaque étudiant que lui-même ou un autre peut très bien, dès lors qu'il accepte les règles du débat scientifique, être porteur d'une parole enseignante.

L'étudiant doit découvrir qu'il peut apprendre énormément d'un pair qui accepte de soumettre au débat ses idées, fussent-elles erronées; en effet, dans la mesure où ces idées rejoignent ou remettent en cause celles qu'il avait lui-même, qu'elles les explicitent ou les rendent contestables, il peut se produire une évolution, un apport de connaissances très important, voire beaucoup plus important que celui provoqué par l'énoncé dogmatique de résultats exacts; résultats qui de par leurs caractères institutionnels ne remettent qu'exceptionnellement en cause les idées erronées que l'étudiant avait antérieurement sur la question (et ce, même si sur le plan logique il perçoit des contradictions).

La limite de cette dévolution de la parole enseignante pourrait se situer dans une sorte de contrat de pertinence: l'étudiant pouvant intervenir lorsqu'il en éprouve la nécessité et l'enseignant acceptant de prendre en compte toute intervention, du moment qu'elle respecte une certaine pertinence.

Pertinence, soit par rapport à la discussion mathématique (on ne peut pas par exemple changer inopinément de sujet ou modifier sans négociation préalable un énoncé en présence d'une contre-argumentation

embarrassante) , soit sur le plan épistémologique (par exemple il n'appartient pas à l'étudiant de décider que ça ne sert à rien d'approfondir la notion d'intégrale , mais il peut parfaitement exiger de comprendre pourquoi on y consacre autant de temps! Il peut aussi suggérer que la discussion a trop duré, qu'elle est devenue trop embrouillée ou tout simplement qu'on est arrivé à un point de saturation et de fatigue tel qu'il serait bon de "laisser décanter "un peu , car le débat à ce stade n'apporte plus rien!).

DEUXIEME PARTIE :LE DEBAT SCIENTIFIQUE TEL QUE NOUS L'AVONS EXPERIMENTE EN DRUG A 1ERE ANNEE

1)Le débat scientifique

a)Ce que l'on entend par débat scientifique en situation d'enseignement

Pour faciliter la compréhension de ce que l'on entend par débat scientifique au cours d'une séance d'enseignement ,on peut décrire sommairement une séance ,telle qu'elle se déroule dans un amphithéâtre. On distingue plusieurs parties:

Dans la première , l'enseignant provoque et organise de différentes manières la production par les étudiants d'énoncés de caractère scientifique (c.à.d dans lesquels les ambiguïtés et les simples opinions ont été éliminées,et qu'il est possible théoriquement de juger vrais ou faux) ; ces énoncés sont écrits au tableau sans qu'une appréciation soit portée sur leur validité.

Dans la seconde partie ces énoncés scientifiques sont soumis à la réflexion puis au débat des étudiants , qui doivent se prononcer sur leur validité,au moyen d'un vote ,chaque opinion devant être ensuite soutenue par un raisonnement de caractère scientifique:démonstration , réfutation d'une démonstration , contre-exemple...

Enfin , dans une dernière partie , les énoncés validés par une démonstration prennent le caractère de théorème, alors que ceux dont on a constaté le caractère erroné sont conservés à titre d'énoncés faux (dont il faudra se méfier) et sont accompagnés d'un contre-exemple, les deux types d'énoncés pouvant être invoqués par la suite pour appuyer un raisonnement , réfuter une conjecture.

b) Les types de débats scientifiques

Si on examine les différents moyens qu'utilise l'enseignant pour aboutir à la production d'énoncés conjecturaux ,on est amené à distinguer plusieurs types de débats scientifiques liés à la nature des énoncés discutés;indiquons les principaux:

Dans le premier type ,**débat de modélisation** , qui s'observe généralement au début de l'introduction d'une notion nouvelle, l'enseignant propose une situation-problème provenant souvent du domaine de la physique , et demande le calcul d'un résultat lié à la situation;la situation-problème doit être telle que les étudiants puissent comprendre le problème (c'est un calcul d'énergie , de force ...), soient à même de contrôler dans une certaine mesure les résultats proposés(ordre de grandeur,signe...), voire de la résoudre dans une situation très simplifiée , sans disposer de l'outil mathématique nécessaire à sa résolution complète.Les énoncés soumis à la discussion entre les étudiants porteront sur les résultats numériques,ou des propositions de méthodes pour calculer ces résultats.

Un second type de débat, le **débat d'adéquation**,peut être organisé

lorsqu'une notion mathématique a été introduite à la suite d'étude de situations-problèmes, puis institutionnalisée par l'enseignant. Il s'agit de demander aux étudiants de proposer eux-mêmes des situations-problèmes plus ou moins modélisées dont la résolution appelle l'utilisation du nouvel outil: le débat portera sur l'adéquation des situations au concept qu'on vient d'introduire; on peut observer qu'il s'agit d'une tâche d'un caractère tout à fait nouveau pour l'étudiant et de ce fait très difficile pour lui.

Un troisième type de débat scientifique, le débat de conjecture, pourra s'organiser plus tard dans l'apprentissage d'un concept lorsque les étudiants disposent de suffisamment de connaissances pour argumenter valablement sur les propriétés de ce concept; il s'agit alors pour l'enseignant de proposer un certain nombre d'énoncés conjecturaux sur les propriétés prévisibles de ces outils mathématiques, ou de demander aux étudiants d'en proposer eux-mêmes. Le débat porte alors d'une part sur la correction des énoncés proposés en tant qu'énoncés scientifiques (exigence de forme) et d'autre part sur la validité de l'affirmation; les arguments apportés par les participants sont à leur tour examinés sous ces deux aspects.

Il faut encore mentionner que dans un enseignement utilisant le débat scientifique, celui-ci peut surgir inopinément, et sur un point qui n'avait pas été prévu par l'enseignant, souvent sur une notion qu'on aurait pu croire acquise.

Ce quatrième type de débat, débat spontané, pose d'importantes questions de gestion: s'il est certain qu'il révèle un problème réel chez les étudiants, il est coûteux en temps, éloigne bien souvent du sujet traité par l'enseignant, qui doit très rapidement prendre une décision: soit de le laisser se développer s'il semble riche d'apports potentiels, soit de l'arrêter sans pour autant aller à l'encontre du contrat établi. Soulignons cependant que malgré tous les risques qu'il comporte, ce débat spontané est souvent très productif et intéressant pour les étudiants.

c) Conditions d'établissement du débat et questions soulevées

Comme on le conçoit bien, l'intensité du débat est variable suivant les séances au cours de l'étude d'une même notion, et la distinction précédente en plusieurs types recouvre également une distinction selon les moments. Le débat peut être riche lors de l'introduction d'un nouveau concept ou quand on en possède une maîtrise suffisante pour en conjecturer certaines propriétés, et faible, ou même inopportun, lorsqu'on en pose les bases théoriques.

C'est d'ailleurs une question encore ouverte que de savoir s'il est possible d'alterner des périodes d'enseignement avec débat scientifique avec des périodes où l'enseignement se fera de manière plus traditionnelle, favorisant l'apprentissage de certains raisonnements par imitation, sans que les changements successifs de contrat didactique soient difficilement supportables tant par l'enseignant que par les étudiants.

On peut penser à l'inverse qu'il est nécessaire d'entretenir en permanence le terrain sur lequel le débat s'épanouira, lorsque les conditions évoquées plus haut le permettront. Parmi les moyens d'entretenir ce terrain, citons la présentation explicite de la méthode aux étudiants, auxquels il est précisé dès le premier contact que les prises de position de caractère scientifique ou concernant la difficulté, les enjeux d'une séance d'enseignement, sont les bienvenues, cette présentation explicite étant entretenue par une attitude

permanente d'ouverture au débat durant le cours. On peut également citer l'attitude de "mot-à-mot" par laquelle l'enseignant maintient en permanence le contact avec son public, qui a la charge de compléter oralement les énoncés, de résoudre de petits exercices.... Cette dernière technique doit toutefois être encore examinée, le danger potentiel étant d'induire une attitude passive "d'approbation" chez les étudiants.

d) Niveau des énoncés produits

On pouvait s'interroger sur le niveau des énoncés produits par des étudiants de DEUG A 1 confrontés à une situation problématique qu'ils ne peuvent complètement maîtriser, (débat sur les méthodes) ou à des notions nouvellement abordées (débat sur les propriétés) et a fortiori face à des situations-problèmes liées à un nouveau concept.

L'expérimentation a montré les points suivants:

1°) Lorsque le débat se place à un moment où les étudiants ont les moyens d'avoir un avis fondé sur leurs productions, ils prennent rapidement l'habitude de proposer des énoncés conjecturaux, des démonstrations et des contre-exemples.

2°) De plus les énoncés conjecturaux soumis au jugement de leurs camarades sont d'un niveau non trivial, ils reflètent les principales erreurs "naturelles" liées à ce concept, théorèmes-en-acte ou règles implicites.

3°) Le débat sur ces énoncés conduit d'une part à préciser ceux qui constituent des théorèmes, d'autre part à exorciser les autres en leur conférant une existence et un statut.

EVALUATION

L'évaluation des effets de l'introduction d'une telle méthode d'enseignement est difficile, car les moyens d'évaluation traditionnelle ne sont pas bien adaptés à la mesure de l'aptitude au raisonnement scientifique, ni à celle de la maturité de l'individu face à la connaissance.

Nous pouvons dire toutefois que l'observation des étudiants en amphi et en TD a montré que le débat de modélisation, dans la mesure où l'étudiant y a participé réellement, charge le nouveau concept de plus de sens et de nécessité. Un travail de recherche sur cette forme de débat très lié aux problèmes de modélisation reste à approfondir, et doit probablement être mené de manière interdisciplinaire.

Le débat de conjecture a pour première conséquence l'explicitation, l'énoncé et l'écriture des propriétés fausses qu'un étudiant admet spontanément et le plus souvent inconsciemment, propriétés qui ne se traduisent le plus souvent que par des erreurs répétées et en apparence aberrantes, et qui par suite sont difficiles à éliminer. Le fait de disposer de ces énoncés et de leur réfutation par un contre-exemple contribue fortement à leur reconnaissance par les étudiants et à leur disparition progressive. Quant aux énoncés valides qui surgissent souvent de conjectures proposées, par perfectionnement des énoncés, ils acquièrent plus de force de conviction du fait de leur validation par un débat où chaque étudiant a pu proposer ses arguments, corrects ou non, dans une discussion entre pairs.

D'une manière générale, les observations en situation d'enseignement (cours et TD) démontrent que les étudiants acquièrent une maîtrise certaine dans la manipulation des énoncés mathématiques, d'une part au niveau du dépassement de l'ambiguïté langage naturel \ langage

mathématique en utilisant librement et abondamment ces deux langages en mathématiques, d'autre part au niveau du jugement porté sur ces énoncés en tant qu'énoncés scientifiques .

Cette maîtrise d'un savoir nouveau apparaît également dans les productions écrites au cours des contrôles de connaissances .

La pérennité de cette nouvelle maîtrise au delà de l'année de DEUG A 1 est cependant un problème qui reste posé.

Face à la difficulté de mesurer les acquis liés à l'usage du débat scientifique , nous avons préféré tenter d'intégrer cette évaluation aux exercices traditionnels (devoirs surveillés , exercices en TD), plutôt qu'élaborer des tests spécifiques indépendants. Nous pensons en effet qu'il est important si cette méthode doit se généraliser , que les contrôles évoluent de leur forme traditionnelle qui mesure essentiellement l'acquisition des algorithmes fondamentaux de résolution de problèmes classiques vers une forme où l'acquisition de l'esprit scientifique , le recul par rapport à un problème soient également pris en compte ; c'est ainsi par exemple que les devoirs surveillés ont toujours comporté une part d'étude de conjecture et ont donné lieu à une part d'auto-correction en confrontation avec la correction de l'enseignant.

Évalués en fin de première année par l'équipe enseignante qui a mené l'expérimentation, les résultats des étudiants sont bons (sensiblement meilleurs que dans les autres sections) ; ces étudiants remis en deuxième année en concurrence avec les autres étudiants ont suivi à nouveau un enseignement traditionnel et ont été évalués en fin de deuxième année par des équipes enseignantes totalement indépendantes de celle ayant mené l'expérimentation en première année, ces étudiants donc semblent pour le moment continuer à avoir de bons résultats (souvent assez sensiblement supérieurs aux résultats des étudiants provenant des sections traditionnelles) mais pour le moment l'expérience n'a pas eu une durée suffisante pour qu'on puisse en tirer des conclusions statistiques valables.

TECHNIQUES PEDAGOGIQUES TRANSMISSIBLES

En ce qui concerne les techniques pédagogiques transmissibles pour organiser un enseignement comportant le recours au débat scientifique , nous pensons avoir dégagé, tant au cours des analyses a priori des situations-problèmes qu'à l'aide de l'analyse a posteriori des observations, un certain nombre de points précis sur la préparation de ce type de séance, et la gestion de la séance "en temps réel" devant l'amphithéâtre. Les plus importants sont les suivants:

-Il est nécessaire d'effectuer une analyse très détaillée des situations-problèmes et des points où le débat doit pouvoir apparaître, ainsi que de prévoir des stratégies de repli si la discussion n'évolue pas dans le sens souhaité.

-Pendant la séance d'enseignement , il est nécessaire de laisser aux étudiants un temps de recherche important pour chaque question conduisant à prendre une décision, temps pendant lequel aucune réponse ne sera donnée , pour que les plus rapides et les plus accrochés ne monopolisent pas la production des énoncés , rejetant alors les autres dans une attitude passive d'expectative stérile.

-Lorsque toutes les conjectures ont été inscrites au tableau, et éventuellement clarifiées par des questions et des demandes de précisions à leurs auteurs , il est très important de demander à tous

les étudiants de commencer à faire un tri dans ces propriétés:
 "-indépendamment de leur caractère de vérité ,quelles sont les propositions qui vous paraissent les plus intéressantes ?
 -quelles sont celles qui semblent contradictoires entre elles ?
 -quelles sont celles qui vous paraissent redondantes ? etc..etc.."
 ceci de façon que l'étudiant ne rentre pas tête baissée dans la routine "démonstration ,réfutation " sans même s'être posé la question : "Mais au fait qu'est-ce que l'on veut démontrer et est-ce bien utile de le faire? " .

Une fois ce premier tri effectué , les propositions sont discutées une à une dans un ordre choisi par l'enseignant (choix à chaud parfois extrêmement délicat !). Il est alors très important de demander à tous les étudiants d'indiquer par un vote leur opinion sur la validité de l'énoncé discuté, afin que tous s'investissent dans le débat pour soutenir leur point de vue .

Un éventuel consensus sur un énoncé qui va après coup s'avérer erroné provoque souvent un choc qui nous paraît très positif tant sur le plan de la connaissance pure du résultat (on se souvient bien qu'"on s'était tous planté" sur ce résultat !) que sur le plan nécessité de la preuve et de la rigueur.

-Nous avons choisi de dépersonnaliser les énoncés proposés en les écrivant au tableau et en les codant par une lettre ou un chiffre sans référence d'auteur, pour placer tous les étudiants dans une position claire de discussion sur une conjecture scientifique et non pas de confrontation personnelle entre des opinions contradictoires . Il s'agit là d'une variable didactique importante (J.PH.DROUHARD et Y. PACQUELIER ont par exemple fait un choix différent, ce qui produit un autre type de discussion) . Il est possible que notre choix entraîne une moindre implication des auteurs et soit la cause d'un niveau moins fort de débat, inversement une discussion trop personnalisée risque de lasser ceux qui ne sont pas directement impliqués ,et ne s'y retrouvant plus ils ont tendance à retourner à l'attitude de spectateur.

-Il semble difficile , et même peu souhaitable , de traiter de l'intégralité d'une notion en utilisant exclusivement le débat scientifique.

Comme on l'a dit plus haut ,il est nécessaire que les étudiants soient en mesure d'appuyer leurs énoncés par des raisonnements qui font appel bien souvent à des connaissances dont ils ne disposent pas encore à l'abord d'une notion nouvelle; on a constaté que les moments les plus favorables sont souvent à l'introduction d'un nouveau concept, ou plus tard une fois qu'un certain nombre de propriétés sont disponibles et permettent d'en conjecturer valablement d'autres. On devra prendre garde à une attitude trop volontariste sur ce plan.Précisons toutefois que ce point est encore largement ouvert, et doit faire l'objet de recherches ultérieures.

EN GUISE DE CONCLUSION

Le débat scientifique est praticable en situation de cours, que ce soit avec des effectifs réduits d'une trentaine d'étudiants ou dans des amphis d'une centaine d'étudiants ; ce débat est producteur de sens , il amène l'étudiant à s'impliquer positivement dans la construction de ses connaissances ,mais...

Mais la pratique de ce débat est une méthode d'enseignement dont la réalisation technique est difficile,elle ne peut se mettre en oeuvre

sans transition et sans apprentissage de la part de l'enseignant, car elle l'amène à des transformations profondes, tant au niveau de l'image qu'il se fait de son statut par rapport aux étudiants et à la connaissance, que par rapport à l'idée qu'il se fait de la preuve et de la démonstration : être persuadé que l'on n'a pas prouvé en cours un théorème quand on a néanmoins produit une argumentation "mathématiquement correcte" qui n'a pas convaincu une bonne partie de ses interlocuteurs, est une révolution intérieure qui demande un certain nombre d'années à celui qui a reçu une formation très dogmatique et Bourbakiste en mathématique.

Il nous semble difficile de s'engager dans cette pratique du débat scientifique en situation de cours sans un travail de préparation, d'observation et d'analyse à l'intérieur d'une équipe d'enseignants. D'ailleurs plus nous avançons dans cette voie, plus un travail de coopération interdisciplinaire notamment math-physique et dans le secondaire math-français nous paraît indispensable ! Mais quel type de coopération peut-on efficacement mettre en place ? sur quels concepts, selon quelles modalités ? Un important travail de recherche est à faire de ce côté-là.

Pour finir, soulignons deux questions importantes que soulève la pratique du débat :

La première : quel est le temps de mûrissement nécessaire entre l'introduction d'une nouvelle connaissance et le moment où l'étudiant pourra l'utiliser "spontanément" à l'intérieur de l'ensemble de ses connaissances ?

La seconde : comment modifier progressivement le contrôle des connaissances pour que soient prises en compte les aptitudes scientifiques fondamentales autres que l'application des algorithmes ?

REFERENCES

M. ARTIGUE et L. VIENNOT, 1985. Sur la compréhension de la notion de différentielle par des étudiants de licence de mathématiques. Atelier de la quatrième école d'été de didactique des mathématiques Orléans

D. ALIBERT, D. GRENIER, M. LEGRAND, F. RICHARD 1986. Rapport d'ATP "Transitions dans le système éducatif" : Introduction du débat scientifique dans un cours de 1ère année du DEUG A à l'Université de Grenoble I.

N. BALACHEFF, 1984. Processus de preuve et situations de validation. Exposé de la troisième école d'été de didactique des mathématiques.

G. BROUSSEAU, 1981. Problème de didactique des décimaux. R. D. M. vol. 2 n°1.

M. T. CAPPONI, F. DUBREUIL, C. GUIDÉE, M. LEGRAND, D. PINTARD, M. T. RIONDET. 1986: "Apprentissage du raisonnement" ou "vers une autonomie de l'élève par une approche en compréhension des connaissances". IREM de Grenoble.

R. DOUADY 1984. Jeux de cadres et dialectique outil-objet dans l'enseignement des mathématiques. Cours de la troisième école d'été de didactique des mathématiques.

D. GRENIER, M. LEGRAND, F. RICHARD, 1985 : Une séquence d'enseignement sur l'intégrale en DEUG A 1ère année. Cahier de didactique des mathématiques. IREM Paris VII, n° 22.

Y. PACQUELIER et J. PH. DROUHARD .1986 Discussion, raisonnement et vérité. Séminaire de la quatrième école d'été de didactique des mathématiques

A. ROBERT .1986 Didactique des mathématiques : une démarche. Cahier de didactique des mathématiques IREM Paris VII.

G. VERGNAUD .1981 Quelques orientations théoriques et méthodologiques des recherches françaises en didactique des mathématiques . Actes de la V^e conférence du groupe "psychology of mathematical education". Grenoble : laboratoire IMAG.