

Le débat scientifique en cours de mathématiques

Avertissement

Ce qu'on peut attendre de ce débat et ce qu'il n'a pas vocation d'être.

Contrairement à ce que pourrait laisser croire le titre, le débat scientifique dont il est question ici n'est ni un exploit ni une finalité, c'est un outil didactique que nous nous proposons de mettre à la disposition des enseignants pour aider les élèves et les étudiants à se saisir avec curiosité, intérêt, voire enthousiasme, des concepts et méthodes qui sous-tendent les connaissances scientifiques classiquement enseignées.

Contrairement aussi au débat d'une communauté scientifique, l'enjeu ici ne porte pas sur la découverte et la validation de nouveaux résultats puisqu'on y discute de faits établis de longue date; **les créations dont ce débat se veut être le catalyseur sont celles des significations que chaque élève ou étudiant va pouvoir par ce biais attribuer aux connaissances enseignées.** A ce niveau l'expérience montre que le mot "création" n'est pas trop fort.

La présentation résumée de ce processus didactique se divise en quatre parties:

- I) Pourquoi un tel changement ?
- II) Principes de fonctionnement, description sommaire
- III) Est-ce crédible et transmissible ?
- IV) Vers une transmissibilité de la méthode du débat scientifique : quelques techniques pour produire de tels débats; caractéristiques et formes dégénérées.

D) Pourquoi instituer un "débat scientifique" en lieu et place de tout ou partie du cours magistral ?

Le raisonnement qui fonde ce choix didactique est le suivant : les chercheurs font des découvertes lorsqu'ils se posent des questions, effectuent des essais et vivent intensément dans une certaine problématique; **les théories qu'ils échafaudent sont chargées au moment de leur création de significations qui les rendent concrètes et captivantes.** Or, pour de multiples raisons dont la principale est que pour réaliser un exposé magistral cohérent, on est le plus souvent contraint à présenter les choses dans un ordre très différent de celui par lequel on les découvre, **dans un cours les réponses arrivent presque toujours bien avant que l'interlocuteur n'ait pu se poser des questions pertinentes.**

Ainsi, excepté chez ceux qui ont par ailleurs des préoccupations très scientifiques, la majeure partie des significations qui fondent les théories ont tendance à disparaître systématiquement dans l'enseignement.¹

"L'avantage administratif" du cours magistral est précisément qu'il peut fonctionner avec les apparences de la normalité, même si la majorité des élèves sont hors de la problématique du professeur. Notre analyse nous a donc conduits à prendre conscience du paradoxe suivant : ce qui rend le cours magistral si robuste sur le plan administratif est précisément une des raisons essentielles de sa fragilité au niveau de la préservation du sens.

Pour échapper aux conséquences de ce paradoxe nous sommes partis à la recherche de dispositifs didactiques provoquant systématiquement des confrontations de points de vue, espérant que de telles confrontations généreraient une forte préoccupation de sens chez l'étudiant.

L'expérience montre que le débat scientifique présente une garantie de robustesse à ce niveau, dans la mesure où il ne peut structurellement fonctionner en l'absence d'une problématique commune et sans confrontation explicite entre les différentes significations que les étudiants attribuent aux concepts traités.

Voilà très brièvement résumées les raisons fondamentales qui nous ont peu à peu amenés à envisager une forme de débat scientifique en cours; ce débat est donc regardé ici, d'un côté comme un aiguillon générateur de questionnement scientifique pour les étudiants, de l'autre comme un indicateur permanent pour le professeur du niveau de compréhension réel de ses étudiants.

1) Les explications du professeur, quelles que soient leurs qualités, n'atteignent véritablement que ceux qui sont déjà entrés dans une problématique scientifique.

II) Principes de fonctionnement, description sommaire.

a) Organisation générale

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 distinguera plusieurs parties :

Dans la première, l'enseignant provoque et organise de différentes manières la **production par les étudiants d'énoncés de caractère scientifique** (c'est-à-dire dans lesquels les ambiguïtés et les simples opinions ont été éliminées, et qu'il est possible théoriquement de juger vrais ou faux); ces énoncés réfutables sont écrits au tableau sous forme de conjectures sans qu'une appréciation soit portée par quiconque 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 théorèmes, alors que ceux dont on a constaté le caractère erroné sont conservés à titre d'énoncés faux accompagnés d'un contre-exemple, les deux types d'énoncés **ainsi institutionnalisés** peuvent être invoqués par la suite sans nouvelles explications pour appuyer un raisonnement, réfuter une conjecture.

b) Les types de débats scientifiques

Si l'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 lors de l'introduction d'une notion nouvelle, l'enseignant propose une situation-problème provenant souvent du domaine de la Physique (voir l'exemple de l'intégrale) 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 trouver une solution dans une situation très simplifiée, sans disposer de l'outil mathématique nécessaire à sa résolution complète. Les énoncés soumis à la discussion entre étudiants porteront sur des résultats numériques ou des propositions de méthodes de résolution.

Un second type de débat, le **débat de conjecture**, peut 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 susciter un certain nombre d'énoncés conjecturaux sur les propriétés prévisibles de ces outils mathématiques. 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 troisième type de débat, appelé **débat spontané**, pose d'importantes questions de gestion pour l'enseignant, qui doit à l'improviste prendre très rapidement la décision soit de le laisser se développer s'il semble riche d'apport potentiel, soit de l'arrêter sans pour autant aller à l'encontre du contrat établi. Ce débat spontané est souvent très productif et intéressant pour les étudiants, mais il peut être coûteux en temps et risque d'éloigner fortement du sujet initialement envisagé.

c) Conditions d'établissement et de maintien du débat

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 et fonctionnel quand il s'agit d'aborder une

nouvelle problématique, lors de l'introduction d'un nouveau concept ou quand on doit passer à un stade supérieur d'approfondissement d'un concept familier, identifier un obstacle ou aborder un raisonnement inhabituel; il peut par contre être inefficace, voire inopportun quand il s'agit de passer en revue des propriétés sans histoires ou de faire des synthèses.

Il paraît néanmoins nécessaire d'entretenir en permanence le terrain sur lequel le débat s'épanouira lorsque les conditions évoquées plus haut le réclameront. Parmi les moyens d'entretenir ce terrain, citons la présentation explicite aux étudiants de la fonction de ce débat, et de façon permanente une attitude de l'enseignant très ouverte devant les interventions des étudiants.²

d) Niveau des énoncés produits

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

L'expérimentation montre que:

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

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

3) Le débat sur ces énoncés permet d'aborder les principaux théorèmes du programme; de plus on observe :

- d'une part, un gain considérable dans l'attention portée par les étudiants aux **définitions** qui de ce fait deviennent beaucoup plus significatives. En effet, suivant que l'on interprète la définition d'une façon ou d'une autre, telle situation particulière est acceptée comme un bon contre-exemple ou est rejetée : l'étudiant découvre alors l'importance d'une définition en mesurant les conséquences sur les théorèmes;

- d'autre part, une familiarisation beaucoup plus rapide avec les **théorèmes généraux** qui deviennent fonctionnels parce qu'ils prennent eux aussi, au cours du débat, une certaine épaisseur sémantique.

e) Changement d'état d'esprit

Pour beaucoup d'élèves ou d'étudiants le débat est une sorte de découverte de la diversité des approches propres à la méthode scientifique (laquelle leur apparaît souvent à l'école comme une activité à sens unique: suivant les sciences ou les professeurs, purement inductive ou purement déductive, totalement abstraite ou purement expérimentale).

Ils découvrent donc assez brutalement un nouveau jeu dont les règles implicites sont :

* accepter la fécondité de l'imagination débridée, ne pas mépriser les essais sur des cas particuliers et les simulations numériques, mais aussi en éprouver les limites,

* tenir compte des avis largement partagés, mais pouvoir néanmoins se désolidariser de la pensée dominante, et pour cela se fabriquer des outils de contrôle et de validation (exemples et contre-exemples),

* objectiver ce que l'on pense confusément (formuler des conjectures) pour pouvoir le proposer à d'autres et être prêt à s'en expliquer,

* découvrir qu'une conjecture naïve, aussi fautive soit-elle, est rarement absurde et qu'il y a beaucoup à apprendre si l'on cherche à voir en quoi elle est fautive et de quelles idées valables elle est éventuellement porteuse,

* aller plus loin dans l'analyse pour savoir si oui ou non le désaccord est réel, c'est-à-dire préciser les définitions trop floues et affiner ses argumentations.

2) En particulier, les jugements de valeur portés en public du type "cette proposition est stupide" ou "vous feriez mieux d'apprendre votre cours avant de poser de telles questions", ou encore la complicité enseignant-amphi pour tourner en dérision une proposition maladroite sont les moyens les plus sûrs d'inhiber une bonne part des étudiants face à la prise de parole. (Ce qui ne veut pas dire que le débat n'amène pas parfois à des quiproquos très cocasses se terminant dans un éclat de rire général, mais dans ce cas ce qui est risible, c'est la situation et non les individus qui l'ont produite.)

Toutes ces attitudes mentales, l'élève ou l'étudiant moyen en ressent peu le besoin a priori dans un enseignement plus magistral, car plus le discours est clair et les objets de contrôle suffisamment convenus, moins il est nécessaire de se préciser pour soi-même tous ces points délicats.

On rencontre donc naturellement dans un premier temps des résistances profondes à ces changements d'état d'esprit et il y a en général, au bout de deux mois environ de pratique de débat, un cap difficile où une majorité d'étudiants souhaiteraient simultanément poursuivre, mais aussi retrouver la sécurité d'un enseignement moins problématique.

Cela correspond à notre avis à une période où l'étudiant est déstabilisé de ses acquis antérieurs car il se sent de moins en moins à l'aise dans la méthode "j'apprends, j'applique", et cependant il n'a pas encore trouvé un nouvel équilibre ne sachant pas encore utiliser efficacement le questionnement scientifique pour résoudre des problèmes ou apprendre des notions. Il a donc peur que la méthode soit trop difficile pour lui.

Si l'on parvient à négocier positivement cette période (il nous arrive à cette époque de l'année d'organiser un atelier-débat pour réfléchir aux différentes façons d'apprendre en sciences), on note qu'au bout de trois ou quatre mois les pratiques décrites plus haut deviennent le fait d'une majorité d'étudiants.

f) Evaluation

L'évaluation des effets de l'introduction d'une telle méthode d'enseignement est difficile. Lorsque le dispositif du débat est utilisé tout au long de l'année, il est clair que si les points essentiels du programme peuvent ainsi être traités, le nombre de théorèmes énoncés en cours est nettement moins important que dans un enseignement plus magistral; disons néanmoins que la clause déontologique (une innovation didactique ne doit pas désavantager les élèves) a toujours été remplie, car ces étudiants réussissent au moins aussi bien aux examens et concours traditionnels de l'année et des années suivantes que leurs collègues de sections parallèles.

Toutefois on peut estimer qu'il n'est pas bon de focaliser toute l'attention sur ce seul mode d'évaluation, puisque les moyens de contrôle traditionnels 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.

D'une manière plus 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 parlant 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 des connaissances.

Il est donc important, pour qu'un tel investissement soit plus facile à justifier auprès des étudiants, que les contrôles des connaissances évoluent de leur forme traditionnelle qui mesure essentiellement l'acquisition des algorithmes fondamentaux de résolution de problèmes classiques vers une forme où l'acquisition d'esprit scientifique, le recul par rapport à un problème, soient également pris en compte.

C'est ainsi que les sujets des devoirs surveillés que nous donnons comportent une partie où la simple maîtrise des algorithmes n'est pas suffisante pour résoudre la question, voire même nuisible si elle pousse à des calculs compliqués qui sont évités sans peine, pour peu que la notion visée ait effectivement conservé un véritable sens, mobilisable dans l'action, dans l'esprit de l'étudiant.

D'autre part, nous introduisons souvent des exercices de conjectures à résoudre par l'étudiant (c'est-à-dire qu'il doit démontrer leur vérité ou leur non-vérité, qui n'est pas indiquée dans l'énoncé). Enfin, nous nous efforçons dans nos feuilles de notations de repérer systématiquement les types de raisonnement (emploi de conditions suffisantes, recours à des majorations par exemple) qui dénotent une prise de distance vis-à-vis des exercices à résoudre. La manière de faire intervenir dans la note finale ces observations est délicate, surtout lorsque certains collègues ne considèrent comme acceptables que les raisonnements totalement achevés.

g) Un exemple de débat

Pour ne pas rester au niveau des seules considérations générales, voici à titre d'exemple le débat dans un amphi de DEUG A2 mention Physique-Maths (i.e. la centaine d'étudiants présents ne détestent pas les mathématiques, mais la majorité d'entre eux a néanmoins l'intention de poursuivre dans un second cycle de physique). On trouvera dans l'activité Circuit, ainsi que dans la présentation du concept d'intégrale, des bribes d'autres débats menés dans le Secondaire et en première année de DEUG.

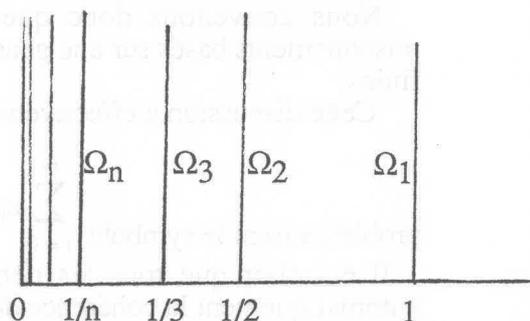
Mathématiquement il s'agit, avant d'entreprendre l'étude des intégrales généralisées, d'effectuer une synthèse des propriétés élémentaires de l'intégrale de Riemann des fonctions bornées sur un intervalle compact, en vue d'établir une base de connaissances communes à l'amphi (ce sujet ayant été abordé assez différemment suivant les sections suivies par les étudiants en première année).

Après avoir discuté des différentes façons d'étendre la notion de mesure (naïvement définie sur les "ensembles simples" de \mathbb{R}^2 comme la somme des aires des rectangles les constituant), on a convenu de prendre la définition de Riemann : "Un domaine Ω borné de \mathbb{R}^2 sera considéré comme mesurable, si et seulement si on peut, à chaque fois qu'on se donne une approximation $\varepsilon > 0$, lui associer deux ensembles simples "l'encadrant" et de mesure voisine à ε près".

La mesure d'un tel ensemble sera alors indifféremment la borne supérieure des mesures des ensembles simples intérieurs ou la borne inférieure des mesures des ensembles simples extérieurs.

Pour tester l'effectivité de l'adhésion commune à cette définition, l'enseignant propose alors d'étudier la mesurabilité de l'ensemble particulier Ω en forme de peigne aux dents rapprochées vers zéro, défini par :

$$\Omega = \bigcup_{i \in \mathbb{N}} \Omega_i \text{ et } \Omega_i = \{ (1/i, y) \in \mathbb{R}^2 \mid 0 \leq y \leq 1 \}.$$



Cinq minutes de réflexion ont été laissées aux étudiants qui ont réfléchi seuls ou avec leurs voisins, l'enseignant s'est tu et n'a pas répondu à tel ou tel petit groupe le sollicitant pour donner son avis.

Au bout de ce temps de recherche quasi individuelle, les opinions des étudiants exprimées par des votes sont résumées au tableau de la façon suivante :

- Ω est mesurable de mesure 0 : $\sim 1/2$ de l'amphi,
- Ω est non mesurable : $\sim 1/3$ de l'amphi,
- Ne peuvent prendre de décision : le reste.

S'engage alors le débat :

- **Premier étudiant**: " Ω n'est pas mesurable ! Car pour trouver un ensemble simple contenant Ω , il faudrait une infinité de rectangles puisqu'il y a une infinité d' Ω_i ; or on a insisté dans la définition "les ensembles simples sont des unions finies de rectangles", ici on ne peut respecter le fini ; donc Ω est non mesurable !"

- **Deuxième étudiant**: "Au contraire, moi je trouve qu'il est mesurable, car il n'y a qu'à prendre pour rectangles extérieurs justement les Ω_i , et cela montre que $\text{mes}(\Omega) = 0$, car $\Omega = \bigcup \Omega_i$, et $\text{mes} \Omega_i = 0 \forall i$, donc $\text{mes}(\Omega) = \sum \text{mes}(\Omega_i) = \sum 0 = 0$!"

- **Troisième étudiant**: "Je ne suis pas d'accord avec les deux précédents, car tout ce qu'on peut dire, c'est que Ω est inclus dans le grand carré et contient le rectangle 0, mais cela ne permet pas de conclure car la mesure de l'un est 0 et de l'autre 1."

- **Quatrième étudiant**: "Oui, mais moi je peux faire l'encadrement $0, 1/2$! Je prends $V = [0, 1/2] \times [0, 1]$ et on a : $\Omega \subset V \cup \Omega_1$, donc $0 \leq \text{mes}(\Omega) \leq 1/2$."

"Et on peut continuer !" dit un autre étudiant.

L'enseignant demande alors si c'est possible d'encadrer à 10^{-15} près, et à la réponse : "oui" d'un certain nombre d'étudiants, il écrit sous la dictée :

$\Omega \subset [0, 10^{-15}] \times [0, 1] \cup \Omega_{(10^{-15} - 1)} \cup \dots \cup \Omega_1$ et par suite $\text{mes } \Omega \leq 10^{-15} + \sum 0 = 10^{-15}$.

La conclusion institutionnalisée par l'enseignant est alors : "l'ensemble Ω est mesurable et sa mesure est 0".

A ce moment, un autre étudiant intervient de la façon suivante :

"Je voudrais revenir sur le raisonnement de tout à l'heure". Il désigne le calcul encore écrit au tableau :

" $\text{mes}(\Omega) = \sum \text{mes}(\Omega_i) = \sum 0 = 0$ " que personne n'a relevé explicitement (l'enseignant a seulement cru entendre quelques murmures de protestation au moment où il avait été proposé).

"En faisant le même raisonnement, je montre que le carré $A = [0, 1] \times [0, 1]$ est de mesure nulle, puisque $A = \cup \Omega_{1/x}$ en prenant tous les x de $]0, 1[$ et ça c'est impossible!"

Grand silence dans l'amphi (satisfaction intérieure de l'enseignant puisqu'il "récupère" ici le prix qu'il a dû payer pour susciter le débat), et à partir de là exploitation par l'enseignant de cette ouverture sur le plan épistémologique :

"Si on accepte sans précautions les généralisations du raisonnement trivial $0 + 0 + \dots + 0 = 0$ c'est-à-dire si on se permet d'écrire naïvement pour des sommes infinies $0 + 0 + \dots = 0$, on va montrer que tout ensemble est, comme union de ses points, mesurable et de mesure nulle; et finalement on en déduira très logiquement que $1 = 0$, ce qui mettrait immédiatement au chômage tous les mathématiciens du monde!"

Nous convenons donc que sans plus amples justifications, nous rejetterons tous les raisonnements basés sur une généralisation brutale des règles élémentaires établies sur les sommes finies.

Cette discussion a effectivement refait surface lorsque nous avons abordé l'étude des séries en

problématisant le symbole $\sum_{i=0}^{\infty} a_i$.

Il est clair que tous les débats que nous avons coutume d'observer en cours n'ont pas automatiquement la cohérence de ce dernier et ne convergent pas aussi linéairement vers un point important (cf [1] ou [4]). Il représente néanmoins assez significativement l'esprit des débats qui peuvent se produire au bout d'un à deux mois de cette forme d'enseignement.

h) Lien entre l'activité "Circuit" et le "débat scientifique"

Au chapitre III.2 nous proposons une activité qui est à la charnière des mathématiques et des autres disciplines: l'activité "Circuit". Elle nous permet de définir avec les élèves et les étudiants les règles du débat mathématique, c'est-à-dire les critères à partir desquels un énoncé général sera réfuté.

L'activité Circuit (ou une activité analogue) nous est progressivement apparue comme un préliminaire difficilement contournable si l'on souhaitait doter la classe ou l'amphi d'une structure législative adéquate, i.e. cadrée sur l'épistémologie mathématique et permettant au professeur de faire converger les débats et de les centrer non artificiellement sur les connaissances du programme³.

3) Si les débats sont rares dans un cours de sciences, c'est bien souvent à notre avis parce que l'on passe d'un extrême à l'autre : soit l'atmosphère est trop contrainte, dans ce cas en dehors des problèmes où il suffit de répéter ce qu'on a appris, personne n'ose s'exposer à faire des propositions originales; soit au contraire, les règles du débat sont tellement libres que l'argumentation scientifique n'a aucune raison de s'imposer naturellement (on discute un peu de tout et tous les arguments sont bons). Devant l'impossibilité de faire converger des propositions ayant des statuts trop différents, l'enseignant est alors conduit à trier de façon arbitraire (vu du côté étudiant) en discernant le label "vrai" ou "intéressant" aux propositions qui se rapprochent de son enseignement et des labels moins flatteurs aux autres, quand il n'est pas tout simplement contraint à plaquer un discours théorique sans rapport ou en contradiction avec l'esprit des propositions des étudiants.

Dans ces conditions, il est clair que très rapidement plus personne ne s'amuse au jeu dangereux et un peu truqué d'une apparente coopération scientifique totalement téléguidée par les intentions cachées de l'enseignant.

En d'autres termes, le groupe classe ou amphi doit posséder des critères de vérité qui permettent de "faire des mathématiques" (et non du bavardage autour ou à propos des mathématiques) tout en respectant l'originalité des propositions de chacun.

III) Deux questions cruciales

- Ce débat est-il crédible pour les élèves et les étudiants formés depuis des années sous un autre contrat didactique (qu'ils retrouveront très probablement l'année suivante)?

- Ce débat est-il reproductible par d'autres professeurs? N'importe qui peut-il s'engager avec succès dans cette voie? Cela ne nécessite-t-il pas des conditions favorables et des connaissances spécifiques?

De telles questions, vous vous en doutez bien, n'admettent pas de réponses catégoriques de type oui ou non ; cependant nos expériences de collaboration avec des collègues du Secondaire et du Supérieur nous montrent que ce **changement de didactique est crédible et reproductible sous trois conditions:**

1) L'enseignant (ou plus positivement le groupe d'enseignants) qui adopte même partiellement une pédagogie de débat, le fait à partir de considérations épistémologiques, didactiques et sociales qu'il théorise suffisamment pour pouvoir⁴ fournir des explications rationnelles aux étudiants et aux collègues qui vont s'interroger sur les véritables raisons d'un tel changement.

2) L'équipe se donne les moyens de négocier explicitement ce nouveau⁵ contrat didactique avec les étudiants et de le rediscuter à terme si des dérapages se produisent; les contrôles et examens en tiennent compte (sinon dans les sujets proposés, tout au moins dans la façon dont sont repérés les signes de comportements plus scientifiques de ceux qui ont investi dans ce sens).

3) L'équipe pédagogique (au moins deux enseignants) qui introduit de telles transformations le fait tout autant dans un esprit de recherche et de mise au point de méthodes permettant à long terme de dépasser les contradictions de l'enseignement scientifique que dans un souci d'amélioration immédiate ou de remède de dernier recours.

C'est-à-dire que l'équipe pédagogique part du principe que si les débats sont suffisamment préparés autour d'obstacles épistémologiques reconnus, ce qu'ils vont produire ne sera globalement pas plus mauvais pour les étudiants que ce qu'aurait donné un cours traditionnel, et peut-être ce sera sous certains aspects franchement mieux; mais la réussite ou l'échec apparent ne sont pas les seuls points de repère de l'équipe.

En effet, ce seront les propositions inattendues des étudiants, les éventuelles remarques de tel ou tel collègue venu observer une séquence et finalement les écarts entre ce qui avait été prévu et ce qui se sera effectivement passé qui vont être pour l'équipe la source de connaissances nouvelles sur le plan épistémologique et didactique. Et c'est cette richesse de connaissances nouvelles qui contrebalancera à la longue le poids de l'investissement consenti et, parfois, la déception de constater que les progrès des étudiants passent par de très éprouvants retours en arrière.

4) Toutefois nous avons constaté que la mise en place d'une pédagogie de débat devient très difficilement crédible et le jeu didactique quasiment injouable si l'équipe innovatrice doit faire face à une perplexité, voire une hostilité non explicitée mais insidieusement distillée chez les étudiants au fil de l'année par les proches collègues. En clair, une équipe pédagogique pluridisciplinaire qui manifeste une certaine communauté de point de vue, qui invite les étudiants à porter leur effort dans une direction commune (ce qui ne veut absolument pas dire que tout le monde adopte une pédagogie de débat) est cent fois plus crédible qu'un individu isolé, lequel n'est plus crédible du tout s'il doit affronter simultanément la tradition et les attaques indirectes de ceux qui souhaitent que rien ne change.

5) Le moment pour introduire un tel changement doit être bien choisi: le début de la première année de DEUG est un moment très favorable, car le lycéen change de statut, alors que des étudiants de deuxième année accepteront beaucoup moins bien qu'on veuille changer les règles d'un jeu ancien (celui qu'ils ont vécu dans le Secondaire) si ces règles ont été reconduites en première année.

Cette dimension recherche, confrontation aux autres recherches, nous paraît capitale pour la pérennité de toute tentative d'innovation pédagogique, mais peut-être plus encore pour des entreprises de type "débat scientifique". En effet, nous héritons tous, de nos propres études et de l'obligation que nous avons eue d'apprendre notre métier d'enseignant sur le tas, d'un modèle cognitif empirique que nous avons éventuellement critiqué en tant qu'élève ou étudiant, mais que nous n'arrivons pas à évacuer de nos pratiques.

Ce modèle cognitif attribue la quasi exclusive à l'enseignant en fait d'initiative, de créativité, et d'apport de connaissances : ce qui est important c'est ce que le professeur dit, fait, ne fait pas, autorise, n'autorise pas, conseille ou déconseille, etc.; par contre, dans un tel modèle l'étudiant a essentiellement un rôle d'exécution, il écoute, applique, apprend, récite, etc.. De plus on traite la connaissance comme un objet idéal et achevé, on attribue de ce fait une place très négative à l'erreur, aux attermolements, au désordre.

Tout donc dans ce modèle s'oppose à une réelle pratique de débat scientifique, et seule une dimension recherche peut, nous le pensons, lui faire contrepoids⁶.

IV) Vers une transmissibilité de la méthode du débat scientifique: contraintes et techniques du débat, caractéristiques et formes dégénérées.

Le lien théorie-techniques

Si l'activité Circuit est difficilement contournable pour la mise en place d'un débat constructif, sa réalisation positive est malheureusement loin d'être à elle seule une condition suffisante pour conférer aux débats que nous organisons la stabilité et l'efficacité souhaitées, et nous sommes bien conscients que les quelques indications données dans les paragraphes précédents, si elles éclairent sur une possibilité d'enseigner autrement, ne fournissent en fait aucun moyen pratique d'organiser effectivement de tels débats sans avoir à refaire une grande partie de notre travail de recherche.

Cette fiabilité dans la réussite du débat est à notre avis moins liée (comme voudraient le faire croire certains détracteurs des recherches en didactique) à la seule personnalité de l'enseignant qui le gère qu'à la mise en œuvre assez systématique de techniques spécifiques. Ces techniques se fondent sur des considérations épistémologiques et didactiques et ne prennent sens qu'à l'issue d'un pari constamment renouvelé sur l'étudiant.⁷

C'est pourquoi avant de décrire avec précision les techniques que nous avons coutume d'utiliser lors des débats, nous vous proposons quelques-uns des éléments théoriques qui nous servent de fil conducteur. Il s'agit par là d'explicitier les principaux leviers, épistémologiques et didactiques, que nous utilisons auprès des étudiants et d'identifier des paradoxes et contradictions inhérents à tout enseignement scientifique.

6) En effet, même si la pratique du débat avec chaque nouvelle cohorte d'étudiants nous démontre d'année en année la faible compréhension d'une démarche scientifique à laquelle un élève accède après plus de dix années d'un enseignement essentiellement magistral, nous nous surprenons néanmoins à rêver d'une transmission des connaissances beaucoup plus économique et rapide que celle du débat : ne gagnerait-on pas beaucoup de temps en leur expliquant d'abord de quoi il retourne ? Après, après seulement, ils pourraient interagir avec la connaissance enseignée!

Nous pensons cela, et pourtant, nous savons d'expérience que cet après ne vient jamais si on ne l'a pas mis avant !

Si donc la recherche ne nous poussait pas à une observation constante de ce qui se produit effectivement chez l'étudiant et ne nous persuadait chaque jour davantage que la connaissance scientifique non problématisée est une baudruche intellectuelle dont seule une très petite élite sait tirer parti, nous nous laisserions facilement reprendre au mythe de la magie du discours pour tout enseigner.

Il ne s'agit pas, au bout du compte, de demander aux enseignants qui veulent pratiquer une forme de débat scientifique dans leurs cours de devenir des chercheurs en didactique; ils doivent par contre pouvoir interagir positivement avec les recherches dont ils s'inspirent, et pourquoi pas, les faire évoluer par leurs critiques et suggestions.

7) Ce pari ou postulat fondamental est le suivant: "les étudiants ont dans leur ensemble la capacité intellectuelle d'affronter positivement les difficultés et les incertitudes d'une démarche scientifique". Ce pari est fondé, car toutes les expériences dont nous avons eu connaissance créant des espaces de liberté intellectuelle suffisants pour pouvoir faire appel à la maturité et à la créativité de l'étudiant l'ont confirmé.

Les considérations abordées ci-après sont donc de deux ordres : des techniques tendant à favoriser un débat efficace, et des éléments théoriques qui servent de fil conducteur à ces techniques.

A) Quelques considérations théoriques autour du débat : constat et contraintes

1) Le levier principal utilisé pour mobiliser et canaliser les énergies intellectuelles des étudiants consiste à favoriser la constitution explicite de fortes épistémologies individuelles.

Comme nous l'avons déjà laissé entrevoir, une des causes que nous désignons comme responsable principale du désintérêt et/ou de l'échec d'un très grand nombre d'élèves vis-à-vis de tout ce qui touche aux raisonnements scientifiques est l'absence partielle ou totale de "complicité scientifique", i.e. de compréhension véritable par l'élève ou l'étudiant de l'objet du travail scientifique. Il est clair que cette compréhension, cette connivence passe par la construction au niveau de chaque élève et a fortiori de chaque étudiant d'une véritable épistémologie personnelle.

Très succinctement, pour nous l'épistémologie d'une personne aux prises avec un problème est l'ensemble des considérations explicites ou non, rationnelles ou non, qui fondent, qui légitiment à ses yeux les actions qu'elle entreprend ou auxquelles elle participe avec une certaine adhésion.

En d'autres termes, à chaque fois qu'un élève ou un professeur se pose les questions fondamentales du type: "quelle est l'utilité de ce résultat, de cette vérification? en quoi, dans quelles circonstances, ce calcul, cette construction, cette méthode sont plus ou moins valides ou efficaces? pourquoi je trouve cette procédure excellente et celle-là détestable? qu'est-ce que je suis en train de faire au juste en appliquant cette méthode, ce raisonnement? etc.", il se façonne une épistémologie qui va servir de fil conducteur à ses raisonnements et légitimer le travail de réflexion qu'il consentira ou refusera à l'étude et à l'approfondissement de telle ou telle question.

Une des fonctions essentielles du débat scientifique est de favoriser l'émergence et le traitement explicite de questions méta-mathématiques qui vont progressivement conduire l'élève à se constituer une solide épistémologie scientifique, à défaut de laquelle se substitue par nécessité une épistémologie purement scolaire⁸ : "c'est important parce que ça figure souvent aux examens!"

Il est clair que le choix didactique de favoriser la constitution d'une forte épistémologie chez l'élève et a fortiori chez l'étudiant est une intention largement partagée par les scientifiques, mais qu'elle ne correspond pas du tout à la pente naturelle de l'enseignement; et il est saisissant de constater à quel point, par exemple, le discours de l'enseignant-chercheur est le plus souvent en totale contradiction avec l'épistémologie du chercheur-enseignant!

Il nous faut donc essayer de comprendre les raisons de ce dysfonctionnement.

2) Le paradoxe de l'enseignement scientifique

Précisons les éléments du paradoxe central : les scientifiques de tout bord savent qu'on ne connaît jamais définitivement, et d'une seule façon, un concept ou une théorie. L'expérience leur a montré que les connaissances qui leur sont utiles sont celles qui sont significatives, c'est-à-dire celles qui recouvrent une diversité d'approches et de domaines d'applications, et qu'ils ne se servent efficacement que de celles dont ils connaissent les finalités et les limites.

8) On remarquera que si cette épistémologie très scolaire est bien naturelle (et parfois nécessaire), elle doit être strictement limitée à sa fonction didactique : pour retenir ce que l'on a compris et être opérationnel, il faut répéter un certain nombre de fois le même type de raisonnement, mais cela ne justifie pas un discours enseignant qui insiste bien souvent plus (comme carotte ou bâton) lors de la présentation d'un concept sur son intérêt pour l'examen que sur la nouvelle possibilité qu'il offre pour résoudre tel ou tel problème intéressant.

Nos expériences nous montrent que les étudiants d'assez bon niveau scolaire qui ont fondé leurs acquisitions scientifiques sur une épistémologie totalement scolaire sont très limités dans leurs capacités de progrès et sont de fait très récalcitrants à entrer dans une problématique scientifique: "pourquoi se poser des questions, pourquoi relativiser la portée de tel résultat, pourquoi se préoccuper de donner du sens à ce qu'on est en train de faire? On est là pour apprendre, donnez-nous la réponse puisqu'elle existe et que vous la connaissez, sinon on perd son temps!"

Si donc on s'en tient au niveau des déclarations générales sur l'enseignement, on observe aujourd'hui un consensus assez fort de la communauté scientifique (Voir le rapport Bourdieu-Gros par exemple) dont la philosophie est approximativement : "c'est à l'acquisition de compétences fondamentales pouvant être réinvesties par l'apprenant dans de multiples domaines que devraient principalement être consacrées les énergies d'enseignement, et c'est aussi sur l'acquisition de ces compétences que devrait se fonder la validité des enseignements scientifiques."

Or, lorsqu'on regarde les pratiques effectives de l'enseignement scientifique, on constate de la maternelle à l'université que ce n'est pas (et de loin) sur ces aspects que porte l'essentiel de l'effort didactique et pédagogique. Et quand on observe les examens et contrôles qui sanctionnent ces études, on voit qu'ils sont presque tous construits de telle façon que l'absence de compréhension en profondeur des concepts et des méthodes n'empêche pas de les réussir.

Tout se passe donc comme si ces aspects épistémologiques, reconnus par tous comme fondamentaux⁹, s'évanouissaient comme par enchantement dans la réalité de l'enseignement.

Nous expliquons cette sorte d'"écrasement épistémologique" dans l'enseignement de la façon suivante : dans une organisation didactique qui doit se dérouler sur des grands nombres et se reproduire d'année en année, parmi les connaissances d'un programme, seules sont explicitement enseignées dans la plupart des classes 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 élèves et susceptibles d'être corrigés sans trop de complications individuelles par les enseignants, le tout débouchant sur des contrôles normalisés permettant d'évaluer "non subjectivement" les acquis).

Comme les connaissances fondamentales dont nous parlons depuis le début rentrent mal dans cette catégorie de savoirs codifiés, explicitement enseignables de façon assez systématique, elles se trouvent de fait partiellement délaissées dans l'enseignement, alors même qu'elles sont au cœur des préoccupations des enseignants.

3) Le piège épistémologique d'une évaluation faussement objective!

Si on comprend aisément les mécanismes du paradoxe précédent, on peut néanmoins s'étonner du fait que des élèves et des étudiants, qui subissent un enseignement scientifique dont le sens leur échappe en grande partie, ne se révoltent pour ainsi dire jamais contre cette "absurdité imposée" et ne manifestent le plus souvent que très peu d'enthousiasme vis-à-vis d'éventuelles propositions de travail plus significatif. Au contraire, on constate qu'ils sont essentiellement complices d'un état de fait qu'ils critiquent seulement à l'extérieur de l'école.

En réalité, ces comportements paradoxaux traduisent clairement le phénomène d'assujettissement scolaire par lequel la majorité des élèves et a fortiori des étudiants sont conduits à placer sur des plans très différents, voire antagonistes, les actions d'apprendre d'une part, de découvrir et de comprendre de l'autre:

- apprendre plus ou moins mécaniquement est une opération nécessaire pour certains apprentissages initiaux, opération qui demeure rentable à court terme pendant de longues années. Il est donc bien normal que le jeune élève y consacre naturellement beaucoup d'énergies et que de ce fait cette opération d'économie de pensée se solde auprès du grand nombre par une certaine "réussite" dans l'acquisition de mécanismes souvent très étrangers aux exigences d'une démarche scientifique. Comme tout enseignement de masse se doit de valoriser les signes de progrès, le système infléchit ses contrôles et examens pour qu'ils attestent de cette "réussite",

- inversement, chacun sait que chercher, découvrir, comprendre sont des actions difficilement "contingentes" dans le temps et très délicates à mesurer objectivement; ces comportements sont donc considérés comme trop erratiques pour avoir un poids important, voire devenir les passages obligés des évaluations ¹⁰.

9) Quand on interroge des scientifiques sur ce qui leur a permis personnellement de réussir, ils parlent souvent d'un professeur particulier qui a su éveiller en eux le doute et la curiosité, qui leur a livré un petit morceau de sa philosophie, et au fil de la discussion ils révèlent le plus souvent que c'est par le questionnement incessant et la mise à l'épreuve de la théorie par l'expérimentation qu'ils ont acquis l'essentiel de leur compétence scientifique.

10) On peut voir tous les jours comment, par ce mécanisme, les questions de réflexion (considérées par les jurys comme les plus difficiles) sont de ce fait affectées de peu de points aux examens et concours, parce qu'on sait que très peu de candidats les abordent. Le plus souvent le système est tellement pervers qu'il interdit de compenser l'injustice flagrante faite à ceux qui, ayant passé beaucoup de temps sur ces questions difficiles, n'ont pas grappillé les points correspondants aux questions techniques dans lesquelles la réponse est téléguidée. S'ils veulent réussir, ils devront comprendre que l'aspect scientifique des questions doit passer après l'aspect "alimentaire". C'est en partie par ces mécanismes insidieux que se construit progressivement l'épistémologie hyper-scolaire.

Le piège de la pseudo-réussite scolaire se referme alors sur l'élève ou l'étudiant qui en déduit logiquement, mais abusivement, que la maîtrise des recettes est fondamentale et celle du sens seulement contingente¹¹.

4) Les contraintes auxquelles doit satisfaire le dispositif du débat

Un dispositif didactique comme celui du débat, qui est très différent des dispositifs classiques, n'a donc de véritable raison d'être et n'aura de réelles chances de survie que s'il crée un environnement écologique mettant en avant les aspects fondamentaux de la vie scientifique qui se trouvent inévitablement relégués au second plan par les formes d'enseignement plus classiques.

Quel est donc l'environnement écologique du monde scientifique qui, au delà des phénomènes d'ambition personnelle, pousse irrésistiblement le chercheur à chercher sans faire d'économie au niveau du sens ?

L'observation des chercheurs en mathématiques montre que seuls les "vrais problèmes" présentent un réel intérêt pour eux. Par "vrais problèmes", nous entendons ceux pour lesquels la situation est trop complexe pour qu'il soit possible d'y apporter spontanément, par application immédiate de ce que l'on sait, des réponses fiables et utiles.

Face donc à ces vrais problèmes, le scientifique fait des supputations, il conjecture; les catalyseurs principaux de son activité sont alors la curiosité, le doute, l'incertitude (cela va-t-il marcher? ce que je fais est-il sérieux? les méthodes que j'utilise sont-elles pertinentes? etc....).

Toute la complexité de l'édifice théorique qu'il échafaude peu à peu correspond alors à une volonté de simplifier un problème.

Nous pouvons donc repérer que la condition initiale qui engage le chercheur dans l'action est la présence d'une intuition, d'une idée et simultanément d'un doute et d'une incertitude sur la validité de cette idée. Et c'est cette incertitude qui, tout au long de sa recherche, va justifier l'acharnement avec lequel il engage des processus intellectuels coûteux et chargés de significations pour tester la validité de cette idée.

Il s'agit donc de faire en sorte que ces catalyseurs de recherche et d'investissement intellectuel soient effectivement réintroduits¹² dans le cours par le biais du débat.

5) Resserrement des contraintes : le statut de l'erreur

Comme il s'agit de créer, à l'intérieur même du cours, des conditions psychologiques favorisant l'émergence de questions et de conjectures, le doute, l'incertitude et l'erreur ne doivent plus être interprétés comme des signes de dysfonctionnement de l'apprentissage, mais au contraire institutionnalisés comme des nécessités, des passages obligés pour qui souhaite se saisir significativement de l'héritage scientifique et acquérir par ce biais de réelles compétences.

Si ces conditions sont réalisées, le débat va permettre de "didactifier les problématiques scientifiques", i.e. de placer l'étudiant en situation d'acteur dans des problématiques où ses connaissances antérieures et le temps dont il dispose auraient tendance à le reléguer au rôle de spectateur (c'est-à-dire à le laisser à l'extérieur de la problématique).

11) Pour se persuader de ce fait, on peut organiser des débats avec des élèves de 4ème, de seconde, de terminale ou des étudiants, les affirmations péremptoires dans ce sens sont unanimes, totalement stables et de plus en plus étayées sur l'expérience quand on monte dans les niveaux d'études.

12) Il suffit d'aller observer quelques enseignements à quelque niveau que ce soit pour constater que cette condition initiale d'aventure et de doute est exactement à l'opposé de tout ce qui caractérise le fonctionnement normal d'un enseignement magistral dans lequel, puisqu'il faut à tout prix transmettre rapidement des savoirs socialement reconnus et initier à des pratiques éprouvées, "tout baigne" le plus souvent dans un oasis de certitudes, où le doute est banni et où l'esprit d'entreprise et de découverte peut difficilement s'exercer.

On voit ici clairement que si la fonction didactique de l'erreur¹³ n'a pas été abordée franchement, y compris dans ses ramifications au niveau de l'évaluation, le groupe classe ou amphi ne supportera pas longtemps de travailler sur des résultats et des raisonnements incertains en présence d'un enseignant qui connaît la réponse exacte et de camarades qui vont la connaître très prochainement et pourront après coup se gausser lourdement en disant : "mais c'est bien évident qu'il ne fallait pas croire à ce résultat et raisonner de cette façon!"

Nos expérimentations nous montrent que tant que l'erreur reste synonyme d'anormalité, de faute, de temps perdu, celui qui en produit une a tendance à la dissimuler et celui qui est responsable de l'enseignement à l'empêcher d'apparaître. Dans un tel environnement psychique et éthique¹⁴, il est clair qu'aucun débat ne peut fonctionner avec les règles du jeu scientifique.

6) Le rôle déterminant de l'attitude de l'enseignant

L'observation sur le terrain des débats qui se sont produits dans nos cours et l'étude des scripts nous ont montré que la fonction épistémologique et didactique de ce débat ne pouvait se mesurer directement en terme de nombre de participants prenant la parole, de qualité des interventions et de difficulté des sujets effectivement traités par la classe ou l'amphi, car au centre de cette affaire se trouvait l'enseignant. Or, le parti que ce dernier adopte plus ou moins consciemment dans la gestion apparemment technique du débat nous est progressivement apparu comme beaucoup plus déterminant sur l'attitude et les productions des élèves que nous ne le supposions initialement.

En clair, l'enseignant, par inattention ou parce qu'il juge que "là n'est pas la question", ou encore parce qu'il ne peut plus supporter de retenir la parole vraie, peut sans le vouloir souffler la réponse qu'il attend¹⁵, faire dire aux étudiants ce qu'ils n'ont pas dit, leur faire croire qu'ils l'ont dit et finalement croire lui aussi que ce sont eux qui l'ont dit.

Or, en théorie, quand il s'agit des périodes de dévolution, de recherche et de validation, aux cours desquelles l'enseignant propose un problème et aide les étudiants à cheminer à travers leurs propres solutions et leurs propres raisonnements, la responsabilité scientifique de ce qui est affirmé est dans le camp des étudiants; le professeur a alors pour rôle de permettre aux étudiants de gérer cette responsabilité.

Au contraire, lors de la période d'institutionnalisation au cours de laquelle le professeur fait la synthèse des apports des étudiants et désigne ce qui devra être connu et retenu, ou encore propose une nouvelle définition, un théorème, une démonstration, l'enseignant reprend toute la responsabilité scientifique et les étudiants, eux, ont seulement à exercer un contrôle didactique : ce qui est dit ne leur semble pas clair, ils ne voient plus le rapport avec ce qui avait été dit auparavant, etc. etc.

Bien évidemment, la réalité de l'enseignement ne se découpe pas aussi simplement que la théorie qui tente de la modéliser, et on n'empêchera jamais totalement l'enseignant de mélanger ces deux rôles; mais à l'expérience, il nous est apparu indispensable de tout faire pour l'éviter, car en

13) Après avoir vécu l'illusion taylorienne de la planification du travail, le monde de l'industrie et de la finance est aujourd'hui contraint, sous peine d'immobilisme, d'accepter de vivre avec l'erreur et le doute, comme on le fait dans le monde de la recherche. On a constaté que dans l'action complexe l'erreur est normale; le problème n'est donc pas de la supprimer, mais de la découvrir à temps, et de savoir en tirer profit pour construire progressivement des solutions moins inexactes, mieux adaptées.

L'école dans son ensemble n'a pratiquement pas suivi cette évolution, car sa didactique est implicitement fondée sur le mythe de l'existence d'un savoir sans faille que l'on pourrait transmettre sans grandes déformations par le biais d'un discours totalement rigoureux; de ce fait, l'erreur dans l'enseignement continue à être considérée comme un écart à la norme, voire comme une faute commise par l'enseignant qui aurait mal présenté la connaissance ou par l'élève qui n'aurait pas écouté, entendu, travaillé ou qui ne serait pas capable, donc qui ne devrait pas être là, etc.

14) Il y a là une contrainte incontournable pour la réalisation du débat, contrainte qui en fait inversement la force, car on constate que la pratique de ce débat en cours entretient un questionnement didactique et éthique permanent chez l'étudiant. Ce dernier aspect nous semble capital aujourd'hui, vu la place qu'occupent les scientifiques dans la société et le pouvoir que leur confèrent leurs connaissances.

15) Ne nous méprenons pas, nous ne sommes pas en train de prôner une didactique dans laquelle le professeur devrait faire abstraction de son savoir; nous sommes par contre en train de préciser que dans cette nouvelle organisation du cours, le professeur doit différencier très nettement suivant les moments l'usage qu'il fait de ce savoir.

deçà d'un certain seuil de séparation on risque de changer de jeu. En effet, à un doute et à une incertitude scientifique dont la fonction épistémologique est très forte, se substitue un jeu de devinette basé sur l'interprétation des marottes et tics du professeur. Dans ce cas on constate qu'on a remplacé le cours magistral qui avait une certaine élégance et un certain rythme par un débat de mot à mot, qui est une façon détournée de reproduire à un niveau où rien ne le justifie la situation de la petite école où le professeur annonce le début des mots et les élèves studieux la fin.

Pour éviter donc de tomber trop fréquemment dans ce piège du débat de mot à mot, piège qui nous guette d'autant plus qu'il est très rassurant pour le professeur comme pour les étudiants puisqu'il évacue l'angoisse de la non participation des étudiants, nous avons été conduits à nous créer des repères et des règles strictes de gestion du débat, afin de pouvoir simultanément laisser beaucoup d'initiatives aux étudiants et néanmoins garder un contrôle suffisant de la situation pour être capable de prendre dans le feu de l'action des décisions plus rationnelles qu'émotives¹⁶.

D'une certaine façon on peut considérer que les techniques de gestion du débat que nous utilisons classiquement sont là pour nous protéger (nous enseignants) et protéger l'amphi de l'angoisse¹⁷ du vide, du ridicule ou de la perte de contrôle de l'autorité magistrale indispensable.

Ce sont ces repères et règles que nous décrivons maintenant en termes de caractérisation du débat scientifique en cours.

B) Caractéristiques techniques du "débat scientifique" tel que nous le pratiquons en cours :

1) Comportements spécifiques

Nous dirons que la classe ou l'amphi est en situation de débat scientifique, si est respectée la majeure partie des caractéristiques suivantes :

a) *Celui qui propose une idée (ce peut être un étudiant tout autant que l'enseignant) s'adresse à l'ensemble des participants qui l'écoutent et non pas seulement confidentiellement et en langage codé à quelques interlocuteurs privilégiés.*

La coutume de la classe pousse l'étudiant à s'adresser exclusivement à l'enseignant en parlant le moins fort possible dans la seule intention de lui montrer qu'il sait ou de l'interroger sur un doute; il ne souhaite donc pas être entendu par ses pairs au cas où ce qu'il dirait serait inexact ou non pertinent.

La marque même d'un changement¹⁸ radical d'état d'esprit dans le groupe apparaît donc dès que l'étudiant commence à ne plus prendre l'enseignant pour interlocuteur privilégié et s'adresse plus directement à ses pairs. Il ne s'agit plus alors pour lui de montrer d'abord qu'il sait, mais ce qu'il sait et pourquoi. Il doit donc parler plus fort, articuler, éventuellement se tourner de trois

16) Il est clair que plus il aura poussé au préalable l'analyse épistémologique et didactique des concepts en jeu, moins le professeur se trouvera pris au dépourvu par les propositions très inattendues des étudiants; il n'empêche qu'à partir du moment où il joue franchement le jeu de l'argumentation scientifique, le professeur doit sans cesse adapter son projet d'enseignement à ce qui se dit et se vit.

Même si en moyenne il se passe au cours du débat ce qui était prévisible, l'enseignant gardera d'autant plus le calme et l'assurance nécessaires qu'il disposera de techniques éprouvées pour gérer quotidiennement l'imprévisible sans prendre pour lui et pour ses élèves des risques démesurés.

17) Cette angoisse existe à des degrés divers chez chacun d'entre nous, elle doit être identifiée et maîtrisée par le professeur, car c'est elle en partie qui le pousse irrésistiblement à répondre lui-même à ses propres questions et à aller beaucoup plus vite que ce que la plupart de ses étudiants ne peuvent supporter; cette angoisse doit être aussi identifiée et maîtrisée du côté des étudiants, qui sinon refusent un affrontement direct avec la réalité de leur (non)savoir. C'est elle qui les pousse à exiger de l'enseignant qu'il donne immédiatement la solution et aille toujours de l'avant, même et surtout quand ils ne comprennent plus rien, car un arrêt prolongé sur l'image montrerait trop à quel point elle est floue.

18) Comme la pratique de ce débat est actuellement peu répandue et donc difficile à aller observer, nous sommes obligés pour tenter de mieux nous faire comprendre de décrire nos choix et nos méthodes de façon très précise. Ces précisions sont en un certain sens contradictoires avec l'esprit de ce que nous proposons, puisqu'elles peuvent être ressenties comme des prescriptions alors que nous sommes intimement persuadés qu'il est déraisonnable de vouloir les appliquer à la lettre. Nous ne pouvons donc échapper à cette contradiction didactique qui ne peut s'atténuer qu'en donnant une prééminence aux considérations théoriques.

quarts s'il est devant, il doit aussi marquer un souci de convaincre ou pour le moins de se faire comprendre de ses interlocuteurs.¹⁹

b) Les interlocuteurs (les autres étudiants et l'enseignant) écoutent et s'abstiennent de parler simultanément d'autre chose, car ils considèrent a priori qu'il s'agit d'un problème, d'une affirmation, d'un savoir individuel ou partiel qui vaut la peine d'être examiné de façon critique afin d'en déterminer la part d'utilité et de vérité.

Pour que cette discipline collective soit acceptable et féconde, il est nécessaire que le débat général soit précédé et éventuellement interrompu par des périodes de recherche plus individuelle, au cours desquelles l'étudiant réfléchit seul ou en discutant avec ses proches voisins. Là encore il nous est apparu essentiel de distinguer très nettement les phases de recherche individuelle ou en petits groupes pendant lesquelles personne (y compris le professeur) ne perturbe la réflexion locale par des interventions ex cathedra, et les périodes de débat collectif dont le début est fixé par l'enseignant en accord avec les étudiants quand il estime que la recherche individuelle a été suffisante²⁰.

c) Lorsque la période de débat collectif est engagée, c'est sur un point précis. Pour focaliser l'attention générale sur ce point, l'enseignant écrit très explicitement au tableau les questions, les affirmations, les argumentations qui sont en discussion. Chaque étudiant a pour rôle soit de faire des propositions, soit d'étudier, de critiquer, d'amender les propositions faites par les autres.²¹

Contrairement donc au fonctionnement le plus classique du travail en petits groupes où, la majeure partie du temps, chaque sous-groupe suit son propre rythme et où l'enseignant passe d'un groupe à l'autre, il s'agit ici après une période de recherche quasi individuelle courte, d'interrompre un premier cheminement personnel pour proposer sa conclusion et prendre connaissance des conclusions des autres.

A partir de là, soit on défend publiquement son point de vue, lorsque la conclusion qui est mise en débat est celle qu'on avait adoptée, soit momentanément on met en veilleuse son axe de réflexion personnel pour entrer dans le cheminement de tel ou tel autre.²²

19) Il est clair qu'à part exception, l'étudiant ne peut prendre seul l'initiative d'agir ainsi, car en le faisant de son propre chef il a l'air de vouloir prendre la place du professeur; si celui-ci n'institutionnalise pas très officiellement et à maintes reprises ce partage du pouvoir issu de la parole qui cherche à convaincre, il peut se sentir agressé par ces étudiants plus entreprenants. Si l'enseignant n'organise pas lui-même le partage du pouvoir de convaincre, il risque de se créer un malaise et une situation de rejet de la part de ceux (très scolaires) qui ne comprendront pas pourquoi l'enseignant se laisse prendre son rôle. Ces derniers risquent alors de perdre confiance dans la compétence du professeur en se méprenant sur le sens de ses silences et sa neutralité scientifique; ils vont probablement par la suite lutter insidieusement contre les protagonistes du débat en ne perdant aucune occasion pour se gausser des erreurs que ces usurpateurs ne manqueront pas de commettre. Dans une telle ambiance le débat ne survivra pas longtemps et/ou ne produira plus du tout les effets attendus.

20) L'évaluation de la durée de ces périodes de recherche individuelle est très délicate, car si ce temps est trop court, seuls quelques étudiants très rapides pourront entrer dans le problème; inversement, s'il est trop long, certains étudiants croyant avoir totalement résolu la question se sentiront désœuvrés, penseront perdre leur temps et se désinvestiront du problème. En général le professeur, habitué à parler sans arrêt en cours, trouve qu'une minute ou deux de silence durent une éternité. Il nous semble, en moyenne, qu'on ne peut attendre une réaction pertinente et positive d'un groupe si on lui laisse moins de cinq minutes de réflexion avant d'avoir à répondre à une vraie question ou à proposer une conjecture. ("Vraie question" signifie qu'on ne suppose pas que les étudiants possèdent déjà une réponse toute faite dans le bagage de leurs connaissances.)

21) Pour faciliter la discussion et éviter les quiproquos, l'enseignant a donc tout intérêt à numéroter les propositions des étudiants, et s'il s'agit de discuter d'un raisonnement, à numéroter les lignes ou les paragraphes ou les formules du raisonnement. Il évite ainsi la désresponsabilisation scientifique des protagonistes qui sinon se contentent d'un rejet global ("j'y comprends rien!", "je ne suis pas du tout d'accord") inutilisable sur un plan didactique. Si les arguments sont étiquetés, le groupe est contraint d'en venir au fait : c'est telle implication qui est mise en cause, c'est telle référence qui est abusive, etc. etc.

22) Cette mise en veilleuse, qui est dans certaines circonstances désagréable à accepter, n'est en général que très provisoire, puisque d'une part c'est souvent en exploitant son propre cheminement qu'on peut comprendre le cheminement d'un autre, en voir les avantages et aussi les limites, et que d'autre part rien n'empêche au moment propice d'introduire son point de vue initial : si celui actuellement discuté débouche sur une impasse, ou si on pense en fin de compte que sa propre solution est beaucoup plus simple, plus élégante, plus rigoureuse (ce n'est très souvent qu'en exposant une solution qu'on croit infiniment plus simple qu'on découvre enfin qu'on était passé à côté du problème).

Ces obligations pour l'amphi de focaliser au moment du débat son attention sur un seul et même sujet à la fois, de ne pas admettre que plusieurs personnes parlent en même temps, de s'interdire le dialogue de sourds et de s'obliger à marquer une continuité²³ dans la recherche d'une solution sont des règles assez strictes et contraignantes par rapport à celles qui permettent de réguler un débat dans un groupe de quelques personnes. Elles nous sont néanmoins apparues progressivement comme indispensables pour que le débat collectif puisse jouer son rôle. A chaque fois que par inattention, pour gagner du temps, pour être plus léger, nous les avons enfreintes trop ouvertement ou trop durablement, le débat est parti à la dérive.

En effet, l'explicitation de la divergence des points de vue n'a d'intérêt scientifique et didactique que si elle s'exprime dans un cadre où l'on peut se souvenir de ce qui vient d'être dit, dans un climat d'écoute mutuelle suffisante pour que chacun entende effectivement ce qui est dit, et soit ou bien déstabilisé dans ses convictions quand elles sont erronées, ou bien au contraire renforcé dans ses modes de pensée lorsque ceux-ci témoignent de leur pertinence.

Si par contre, la multiplicité des points de vue s'exprime dans le brouhaha ou l'indifférence collective, aucun des mécanismes précédents ne peut plus jouer et, de catalyseur de réflexion, le débat se réduit à du bruit.

Il faut donc bien voir que la solennité que nous avons été contraints d'adopter dans la gestion du débat comporte une certaine lourdeur, représente un frein à la spontanéité des réponses et une difficulté supplémentaire pour qui doit vaincre sa timidité, mais c'est aussi un formidable stimulant de réflexion profonde: avant de s'adresser à un grand groupe qui va vous écouter et argumenter sur vos propositions, on réfléchit plus fort pour ne pas dire n'importe quelle banalité, on se donne l'obligation de formuler ce que l'on pense confusément. (Dans un petit groupe on s'exprime aisément avec des onomatopées et des gestes, et du coup on parvient plus difficilement à formaliser sa pensée.)

Enfin, signalons que cette solennité peut fortement modifier l'image que l'on a de son rapport aux autres et aux mathématiques, car on vibre très intensément en voyant que son argumentation même maladroitement peut, dès qu'elle se structure, éclairer d'autres personnes, résister aux argumentations contraires, et on démystifie le scientifique quand on constate que le théorème qui est institutionnalisé et qui figurait dans les manuels n'est pas très différent de la conjecture qu'on avait soi-même formulée.

L'expérience montre qu'il s'agit là effectivement pour une grande proportion d'étudiants d'un aiguillon intellectuel dont il est dommage de les priver. Nous avons vu bon nombre d'entre eux, initialement très peu motivés par les mathématiques, se laisser prendre au jeu social de l'argumentation scientifique et, par ce biais, découvrir une dimension heuristique aux mathématiques qui leur avait totalement échappé jusque là.

2) Les éléments explicites du contrat didactique

Comme elles ne correspondent pas à la coutume du cours magistral, les pratiques du débat doivent à notre sens être explicitement convenues au départ et régulièrement rediscutées avec les étudiants quant à leur signification épistémologique et didactique.

Sont à discuter en particulier les aspects suivants:

- L'utilité, l'adéquation et la vérité de ce qui se dit ou s'écrit ne peuvent ici être considérées comme institutionnellement acquises, car l'enseignant, qui coopère en redisant plus fort et/ou en écrivant au tableau ce qu'on lui dicte, n'engage pas sa responsabilité de spécialiste dans cette première phase de défrichage ; par contre, il invite les autres participants à prendre position sur les assertions par le biais de votes indicatifs dont il fait explicitement figurer le résultat approximatif au tableau, et il les convie à s'impliquer personnellement par des explications orales et des jugements sur ces explications.

- Le débat ne consiste donc pas à opposer une opinion à une autre ou à réaliser un coup de force en attendant l'arbitrage de l'enseignant (qui, lui, aurait institutionnellement raison), mais son fonctionnement exige de la part de chacun d'apporter des arguments reposant sur des faits que tout

23) Quand nous parlons d'obligation de continuité dans le débat, nous signifions d'une part que les intervenants doivent se répondre et argumenter en tenant compte des faits nouveaux apportés par l'intervenant précédent, c'est-à-dire que l'amphi se refuse à passer outre devant deux opinions contradictoires exprimées, et d'autre part qu'on n'abandonnera pas la discussion d'une idée, d'une proposition sans l'avoir convenu (c'est-à-dire avoir tiré un trait sur ce qui vient de se produire, ne serait-ce que pour conclure qu'on est dans une impasse et que, personne n'ayant pour le moment d'idée neuve à apporter, il vaudrait mieux momentanément abandonner cette piste de réflexion, regarder les autres propositions, puis si nécessaire y revenir ultérieurement).

le monde peut constater, ou qui sont pris dans le lot des référents communs (axiomes et théorèmes admis ou démontrés).

- Les argumentations ainsi développées (les preuves et les démonstrations) ont pour objet d'expliquer ce que l'on constate ou de montrer la vérité ou la fausseté d'énoncés généraux que certains protagonistes ont considérés comme "suffisamment vrais" pour en proposer la discussion générale (les conjectures).

- Il s'agit au terme de ce débat d'adhérer à ces conjectures parce qu'on pense que ce sont des généralités sans failles (elles deviennent les théorèmes du cours qui s'ajouteront aux référents communs), ou au contraire de les rejeter parce qu'on s'est persuadé en fabriquant des contre-exemples ad hoc qu'elles sont fausses (elles deviennent alors des énoncés faux dont il faut se méfier, car si elles ont été proposées, c'est que certains de leurs aspects les font passer pour vraies).

- Dans tous les cas, ce débat a pour enjeu la découverte de solutions à des problèmes, la vérification de l'exactitude de faits ou d'idées générales, la prise de conscience de la portée et des limites de certaines méthodes et non l'adhésion à des croyances, à des personnes ou à des groupes de personnes; ce débat ne fait bien entendu l'objet d'aucune évaluation individuelle de la part du professeur.

- Dans ce dispositif, la preuve et la démonstration sont le moyen fonctionnel par lequel la mini-communauté classe ou amphi se saisit des nouveaux objets, s'explique ce qu'elle croit avoir compris et se persuade qu'elle n'est pas en train de se tromper.

3) Le rôle des techniques de conjectures, de votes et de contre-exemples

Les conjectures

L'utilisation (que certains mathématiciens trouvent abusive) du mot conjecture pour essayer de cerner ce que l'étudiant pense confusément être vrai, fait partie du processus didactique mis en place en vue de responsabiliser l'étudiant et le faire entrer dans le mécanisme de la pensée mathématique :

- si on ne solennise pas un peu ce qu'on pense confusément et qu'on est un étudiant moyen, on ne pense plus rien, on attend que les autres pensent à votre place;

- si on n'a aucun vecteur pour partager ses intuitions, on ne les formule pas suffisamment et chacun sait qu'une bonne idée en sciences, non formulée, est le plus souvent une idée perdue;

- si on ne s'astreint pas à mettre sous la forme d'énoncé réfutable ce que l'on pense être vrai, on peut toujours face à une contradiction jouer le jeu du malentendu et prétendre que ce n'était pas cela que l'on voulait dire. Pour défendre des énoncés élastiques, il est inutile d'entrer dans une problématique de preuve et de démonstration, la mauvaise foi est bien plus efficace.

Telles sont les principales raisons qui nous ont progressivement amenés à exiger de l'étudiant qu'il s'adresse au groupe, davantage sous forme de conjectures que de questions.

Une technique efficace pour transformer²⁴ des questions scolaires en un questionnement scientifique:

Il nous semble que c'est par le mécanisme de la conjecture que l'on peut le plus facilement, à l'intérieur même d'un cours magistral, provoquer un questionnement scientifique à l'endroit où l'on a le sentiment qu'il devient indispensable pour comprendre la suite: si on pose la question "qui n'a pas compris?", personne ne répond bien entendu. Si par contre, en annonçant que l'étape suivante nécessite une certaine compréhension de l'étape actuelle, on suggère aux étudiants de pointer ce qui leur paraît ambigu ou incomplet, ou si tout simplement on manifeste qu'on est prêt à consacrer un peu de temps à une mise au point (ce qui ne signifie pas poser brutalement la question: "y a-t-il des questions?", suivie trois secondes après d'un "bon, je vois qu'il n'y en a pas, tout va bien, je peux donc continuer!"), il est rare qu'un étudiant ne pose pas une de ces

24) Quand un étudiant pose la question "est-ce que j'ai le droit de ...?", il n'entre pas en général dans une problématique scientifique, il reste à un niveau scolaire, il demande à l'enseignant d'assumer la responsabilité de l'éventuelle erreur. La preuve en est que, lorsqu'on retourne la question de l'étudiant "est-ce que j'ai le droit ?" sous la forme conjecturale "vous affirmez que tel fait précis a toujours lieu dans telle condition donnée!", il est très fréquent que ce soit l'étudiant même qui a posé la question qui réponde instantanément pour se défendre d'une telle affirmation; le mécanisme de la conjecture lui fait découvrir un contre-exemple, qui ne s'imposait pas à ses yeux quand il cherchait seulement à faire l'économie d'une démonstration en demandant au professeur de se substituer par son savoir à l'argumentation scientifique.

questions naïves, à laquelle s'il y avait un minimum de compréhension globale, tout le monde devrait pouvoir répondre sur le champ. Si, au lieu de donner instantanément une réponse utilisant abondamment les mots "trivial" et "évident", le professeur écrit au tableau la question sous forme de conjecture et demande à l'amphi de réfléchir deux minutes avant de se prononcer sur la vérité de cette dernière, il constatera que le même amphi qui aurait hoché positivement la tête devant son affirmation d'évidence et aurait pris un air entendu s'il avait traité avec humour le côté un peu trop naïf de la question, va brutalement être plongé dans les affres de l'incertitude et trouver cette question très sérieuse.

Par cette métamorphose question-conjecture, l'amphi risque alors de basculer du scolaire vers le scientifique. Toutefois rien n'est gagné, car si au bout de deux minutes l'enseignant donne la parole à l'étudiant qui voulait répondre immédiatement, il risque d'obtenir une réponse laconique renvoyant l'explication au point du cours concerné, le tout assorti d'un zeste de mépris à l'endroit de celui qui avait posé une si sottise question. Cette intervention dont la signification profonde risque d'échapper à tous ceux qui n'avaient pas saisi l'élément de cours correspondant aura néanmoins pour effet de clore l'incident : l'amphi croira qu'il a compris, alors qu'en fait l'affaire n'est assurément entendue que pour le professeur et cet étudiant zélé.

C'est essentiellement pour contrer les effets pervers du monopole des réponses immédiates par quelques étudiants plus rapides que nous avons dû introduire une pratique de vote sur un énoncé.

La fonction du vote

Face à un résultat numérique ou à une conjecture, il s'agit de faire entrer dans une discussion commune l'ensemble des étudiants, ceux qui ont produit ce résultat bien sûr, mais aussi ceux qui en ont proposé un autre et aussi ceux qui ne sont pas arrivés à formuler d'eux-mêmes un résultat réfutable.

Après le temps de réflexion nécessaire, l'enseignant organise donc un vote à mains levées; l'étudiant doit alors s'inscrire:

- soit dans la position "c'est vrai" s'il est d'accord, s'il pense intimement que c'est exact, s'il a des arguments solides qui vont dans ce sens,

- soit dans la position "c'est faux" s'il en a l'intime conviction et éventuellement détient des éléments pour construire un contre-exemple,

- soit encore il ne peut pas prendre de décision, car il ne comprend pas vraiment où est le problème, il n'a aucune idée de ce qui peut se passer ou encore il a en tête deux raisonnements contradictoires, etc.; il se place alors dans la position symbolisée par le terme "autre" ou le signe ?

Ce vote indicatif doit être très rapide (une minute au plus), il n'est pas nécessaire qu'il soit rigoureusement exact; les grandes tendances seules importent (par exemple : 1/2 amphi pense que c'est vrai, 6 étudiants pensent que c'est faux et 1/4 de l'amphi ne peut prendre de décision). Les résultats du vote doivent figurer explicitement au tableau et aucun commentaire, appréciation, réaction d'approbation ou de rejet n'est toléré pendant le vote.

Le vote marque donc l'arrêt des recherches individuelles et matérialise l'état du groupe amphi. S'il n'y a pas de quasi-unanimité, a fortiori si les opinions sont fortement tranchées ou incertaines, la dérision et l'évidence ne sont plus de mise, chacun comprend qu'il va falloir argumenter ferme et expliquer clairement pour défendre son point de vue.

Quand le débat est particulièrement riche, mais ne débouche pas sur une décision absolue, il se peut que l'enseignant avant de reprendre sa fonction magistrale propose un nouveau vote, qui marquera la fin du débat et montrera quelle évolution d'opinions il a produit.

En marquant ainsi la fin de son rôle de meneur du débat scientifiquement neutre, l'enseignant crée avant de se donner la parole exclusive une forte curiosité²⁵ et un fort appétit vis-à-vis du cours magistral qu'il va proposer pour conclure.

25) Dans ces conditions, d'où qu'elle vienne, l'explication fournie aura beaucoup plus de chances d'être écoutée dans ce climat de contradiction manifeste que lorsque la réponse est évidemment oui ou évidemment non car elle vient d'une personne autorisée. A la longue, l'efficacité de la preuve et de la démonstration sera d'autant mieux prouvée que l'amphi aura constaté qu'elle est susceptible de provoquer d'impressionnants retournements de majorité. La présence au tableau tout au

Les contre-exemples

Nous détaillons dans l'activité Circuit le rôle du contre-exemple. En deux mots, rappelons qu'il s'inscrit dans tout ce mouvement de délégation à l'étudiant d'une véritable responsabilité scientifique, il devient l'instrument positif de l'esprit critique: il ne suffit plus de dire qu'on n'est pas d'accord ou que c'est faux parce qu'on n'y comprend rien, il faut le prouver et avec des procédés qui ne puissent être eux-mêmes mis en défaut; d'où l'exigence de produire des contre-exemples très explicites et le plus simples possible.

Signalons que la découverte d'un contre-exemple à des conjectures assez élémentaires est accessible à beaucoup d'étudiants, alors que celle d'une démonstration rentrant effectivement dans les canons de la rigueur mathématique est beaucoup plus délicate, même dans des cas assez simples.

La pratique de la recherche systématique d'un contre-exemple est une façon de mettre le pied à l'étrier aux étudiants peu rigoureux qui ne sont jamais arrivés à construire de démonstration jusqu'alors.

La découverte de la démonstration d'un théorème obtenu comme l'aboutissement d'une suite de conjectures erronées que l'on a progressivement rectifiées en tenant compte des contre-exemples est une opération qui peut se mener collectivement avec la collaboration d'étudiants de niveau très hétérogène, alors que la mise à plat directe d'une preuve de l'énoncé final est essentiellement une opération magistrale dont le sens risque d'échapper à la plupart de ceux qui ne verront pas ce qu'on veut prouver au juste et contre quoi on se bat véritablement.

4) Les rôles respectifs de l'enseignant et des étudiants; les ruptures du contrat didactique

Dans la pseudo-communauté scientifique ainsi constituée, l'enseignant est donc celui qui propose et organise les thèmes de travail, il est en outre garant que la mini-communauté amphi n'est pas en train de s'éloigner de la communauté scientifique générale: on commence d'abord par se mettre d'accord au sein de la communauté amphi sur la véracité de telle ou telle propriété, mais l'enseignant, lors de l'institutionnalisation du débat, ne désignera comme résultats à apprendre que ceux qui sont de plus identifiés et reconnus comme vrais par la communauté mathématique extérieure.

Si globalement sa présence offre donc aux étudiants une garantie de sérieux et de conformité au savoir socialement reconnu, localement son rôle n'est ni d'indiquer systématiquement ce qu'il faut faire, ni de trancher entre ce qui est vrai et ce qui ne l'est pas, mais de favoriser, en créant des situations problématiques et en laissant planer un certain doute, le développement de l'imagination et de l'esprit critique.

Comme ces comportements du professeur ne s'inscrivent pas dans le contrat didactique tacite de l'enseignement traditionnel, il va falloir expliciter et éventuellement négocier le rôle didactique de la neutralité scientifique du professeur face aux erreurs. Pourquoi traite-t-il sur le même pied, au niveau de l'étude critique, les énoncés faux comme ceux qui sont exacts? pour quelles raisons soumet-il à la discussion les procédures utiles comme celles qui conduisent à des impasses? et pourquoi se refuse-t-il à trier lui-même dans les propositions des étudiants afin de ne garder que celles qui seront utilisables et éliminer toutes celles dont l'étude va faire "perdre du temps"?

Il est clair que les étudiants ne peuvent s'inscrire positivement dans une didactique différente s'ils sont intimement persuadés que ce n'est pas ainsi qu'on apprend. Il ne s'agit pas d'obliger l'étudiant à croire que c'est mieux ainsi, il s'agit d'expliquer la fonction didactique des changements proposés; l'expérience lui montrera si l'efficacité pronostiquée est réelle pour lui ou non.

Ce problème de l'explication des rôles est ici primordiale, car tout aussi négative est semblait-il l'attitude trop réservée de ceux qui ne veulent jamais donner leur avis sur rien que l'attitude

long du débat du résultat du vote est donc à notre sens un catalyseur de preuve beaucoup plus efficace que l'injonction magistrale "soyez rigoureux, démontrez ce que vous avancez, faites attention à ce que vous écrivez!"

"fayot" de ceux qui croient devoir prendre la parole à tout bout de champ pour montrer qu'ils sont bien là, ou de ceux qui essaient de décoder ce que le professeur attend, afin d'"avoir juste".

Il y a donc rupture du contrat du côté de l'enseignant quand il "souffle les réponses" qu'il attend, transforme volontairement ce qu'il entend ou néglige les assertions qui ne vont pas dans son sens.

De même il y a rupture du contrat du côté de l'étudiant, s'il donne une réponse à laquelle il n'adhère pas véritablement parce qu'il pense néanmoins que c'est la réponse attendue, ou s'il se tait alors qu'il est persuadé qu'il y a contradiction flagrante entre le résultat ou le raisonnement proposé et ce qu'il ressent profondément.

Ces ruptures de contrat ont pour effet d'empêcher le dispositif didactique de produire les apports cognitifs pour lesquels il avait été mis en place; d'aide à l'apprentissage le dispositif se transforme en obstacle. Ces ruptures de contrat, si elles se multiplient de part ou d'autre, mettent en danger le dispositif global, car les pertes de temps qu'occasionne le débat ne sont plus compensées par les apports cognitifs décisifs que provoque la présence de fortes contradictions : on perd sur tous les tableaux.

Il n'est pas question bien entendu d'imposer une forme de participation déterminée à l'étudiant, il doit néanmoins être tenu au courant des mécanismes didactiques mis en œuvre par l'enseignant afin de prendre la responsabilité de compenser par lui-même les lacunes du dispositif.

Enfin, si après plusieurs tentatives, le contrat se noue difficilement, ou qu'après un certain temps de bon fonctionnement les ruptures de contrat deviennent le fait de la majorité des étudiants, le dispositif didactique global doit être mis en discussion au niveau de l'amphi : ou bien on pense majoritairement que certains obstacles dans l'apprentissage scientifique seront mieux surmontés par la pratique du débat, et alors il y a un engagement majoritaire de l'amphi à "jouer le jeu" quand un débat est engagé; ou bien on décide momentanément d'en rester au niveau du cours proprement dit à un dispositif essentiellement magistral, l'entre-deux étant à coup sûr la plus mauvaise solution.

Principaux textes se rapportant directement au "débat scientifique" en situation de cours.

[1] Alibert D. - Grenier D. - Legrand M. - Richard F. : Introduction du débat scientifique dans un cours de première année du DEUG A à l'Université de Grenoble 1. Rapport de l'ATP "Transitions dans le système éducatif". Septembre 1986.

[2] Grenier D. - Legrand M. - Richard F. : Une séquence d'enseignement sur l'intégrale en DEUG A première année. Cahiers de Didactique des Mathématiques, IREM Paris 7, n°22, 1985.

[3] Johsua S. et Dupin J.J. (1989) Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique. Editions Peter Lang S.A., Berne.

[4] Legrand M.: La crise de l'enseignement, un problème de qualité. Aléas Editeur, Lyon, juin 1989.

[5] Legrand M.: Genèse et étude sommaire d'une situation codidactique: le débat scientifique en situation d'enseignement. Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique. Journées S.M.F. Luminy, 16-21 novembre 1986.