

SCIENCES, ENSEIGNEMENT, DEMOCRATIE ET HUMANISME
OU
CE QUE JE CROIS AVOIR COMPRIS DES RECHERCHES SUR
L'ENSEIGNEMENT DANS UNE PERSPECTIVE DE COHERENCE
ENTRE SCIENCE, ENSEIGNEMENT, DEMOCRATIE ET
HUMANISME

CONFERENCE :

Marc Legrand

Enseignant-chercheur à l'IREM de Grenoble

Cet exposé comporte quatre parties :

Première partie : Si on se place dans la perspective de fonder à l'école les bases d'une démocratie et si on pense qu'enseigner c'est aussi transmettre une certaine forme d'humanisme, quelles sont les valeurs naturellement associées à un enseignement scientifique et qui ne peuvent que très difficilement émerger d'un enseignement de pures techniques ?

Deuxième partie : Quels éléments forts des recherches en psychologie, en épistémologie et didactique de ces dernières décennies (recherches autour du constructivisme) permettent d'aborder avec de véritables chances de succès l'utopie fondamentale : faire découvrir, aimer et pratiquer les bases d'une démarche scientifique à la grande majorité de nos élèves ou de nos étudiants ?

Troisième partie : Que devient dans bon nombre de nos classes, voire de nos amphis, le constructivisme qui a circulé dans la communauté des professeurs via les articles, les congrès, les formations, les IREM, les IUFM ?

Quatrième partie - Retour sur un exemple significatif de notre propos : "Le jean".

I. Science, démocratie et humanisme

Un constat préliminaire

Quelle que soit la façon dont on s'y prend et quel que soit le public auquel on s'adresse, enseigner des mathématiques qui permettent d'entrer dans une démarche scientifique est long et difficile, mais il est clair aujourd'hui que si l'on tente de faire cela dans un enseignement de masse en s'appuyant exclusivement sur les modes d'enseignement traditionnels, on va droit à l'échec.

En effet, il n'est pas exagéré de dire que la plupart des élèves ou des étudiants qui s'en sortent actuellement n'attrapent en fait que la surface des choses (ce qui suffit pour obtenir les examens) ; les autres fuient de plus en plus (désertion des filières scientifiques) ou échouent très violemment.

La tentation est donc de plus en plus forte d'année en année d'abandonner toute ambition d'initiation réelle à une pensée scientifique et de "déconceptualiser" le plus possible nos

enseignements afin de lutter contre l'échec scolaire, en raison d'une vision de plus en plus utilitaire du savoir face à l'emploi..., par souci d'égalité des chances..., parce que... c'est ce que "tout le monde" semble souhaiter, en tout cas parce que c'est bien souvent dans ce sens que vont les pressions officielles.

Et c'est ainsi que chaque réforme ayant pour objectif de diminuer l'échec sans être accompagnée des moyens pour réussir sur le fond (par exemple, donner aux maîtres la possibilité de participer dans la durée à une recherche-formation continue), à tous les niveaux, de la maternelle à l'université, on passe progressivement mais imperturbablement d'un enseignement scientifique à l'enseignement de techniques déclarées "comme devant être directement utilisables par le futur citoyen", quand cela ne se réduit pas à l'enseignement de simples recettes pour réussir aux examens.

Ma question initiale est alors la suivante : pourquoi faudrait-il résister ?

En d'autres termes, puisque la plupart des élèves n'ont pas vocation à devenir des scientifiques purs et durs, quelles valeurs sont donc fondamentalement au cœur d'une culture scientifique et mathématique ? Et pourquoi ces valeurs pourraient-elles ne plus être transmises si on remplaçait l'enseignement scientifique par l'initiation à des techniques et l'enseignement des mathématiques par l'initiation au traitement informatique de problèmes mathématisés ?

Il me semble que l'enseignement d'une science est d'abord et avant tout l'enseignement d'une forme de pensée, d'une façon d'aborder les problèmes, de les traiter ou de se déclarer inapte à le faire, c'est l'initiation à une certaine philosophie pratique, philosophie qui s'actualise et s'effectue par la construction, la mise en œuvre, la maîtrise de modèles et de techniques adaptées.

La science, "quand elle est profonde", essaye de se délimiter un objet d'études, et tout en cernant au mieux son domaine de réalité, convient qu'elle ne peut le connaître totalement, qu'elle ignore et ignorera toujours ce que les choses sont en vérité, elle affirme que ce n'est pas son objet de savoir avec une certitude totale.

La science qui se respecte travaille à partir d'hypothèses et soutient des thèses qui résultent de spéculations faites dans des modèles, modèles qui eux-mêmes ne se prétendent pas être la copie conforme du réel, qui ne se prétendent pas "plus vrais, plus parfaits" ; ils ont seulement vocation à être cohérents en eux-mêmes, à être pertinents par rapport au "réel" dont ils cherchent à rendre compte, à être adéquats pour traiter les questions qu'on se pose.

C'est dans ces modèles que l'on trouve des formules mathématiques qui permettent de quantifier les choses, de calculer des résultats ; mais ces formules et ces lois mathématiques qui donnent toute leur fécondité aux modèles ne sont toujours pas vues par les scientifiques comme les lois de la nature, mais comme un moyen de mettre la nature en loi.

Ce qui est fondamental pour celui qui participe à l'activité scientifique, c'est cette pratique de va-et-vient permanent entre ce qu'il perçoit de façon quasi kinesthésique, ce qu'il en imagine et infère avec son esprit, ce qu'il crée avec ses modèles, ce qu'il arrive alors à calculer et à démontrer dans ses modèles, ce qu'il va pouvoir en inférer sur le "réel initial", ce qu'il va pouvoir prévoir et anticiper, et la façon dont il va contrôler la pertinence de ces inférences et de ces prévisions pour éventuellement rebondir en modifiant ses hypothèses et modèles ou en construire de nouveaux.

Ce qui caractérise les modèles scientifiques, c'est qu'ils sont créés en se pliant à une double contrainte, d'un côté le "réel", et de l'autre, une forme de pensée qui depuis plusieurs millénaires montre à l'usage toute sa fécondité et sa pertinence, "la pensée hypothético-déductive". (Dans un modèle scientifique, je peux effectuer l'acte intellectuel d'objectivation : "si certaines choses sont bien comme ceci, alors je peux me persuader et persuader rationnellement quiconque - je peux démontrer - que d'autres choses sont comme cela!").

Ces modèles qui semblent à première vue très mathématiques par la présence de formules, le sont surtout en définitive parce qu'ils épousent comme logique interne une logique essentiellement mathématique.

L'intérêt d'un tel enseignement scientifique pour tous n'est donc pas, à mon sens, de gaver tout futur citoyen de formules et de résultats dont il n'aura que faire dans la vie courante (une très petite minorité de gens utilisent effectivement les savoirs scientifiques en tant que tels, et le développement des logiciels "intelligents" ne fera que diminuer ce besoin). L'intérêt d'un tel enseignement est par contre d'apprendre très tôt à chacun que malgré nos phantasmes de toute-puissance cognitive, notre besoin de posséder des vérités absolues et notre désir que tous pensent comme nous, les vérités dures, les consensus larges et profonds sont rares et sont à construire ; ils ne s'obtiennent que par un certain renoncement au particularisme, que par un éloignement parfois énorme du réel.

La dynamique du point, par exemple, qui nous éclaire énormément sur un certain nombre de phénomènes du monde matériel qui nous entoure n'est le plus souvent simple et éclairante que lorsqu'elle élimine les forces de frottement et écarte l'influence des masses secondaires; et les théorèmes mathématiques auxquels nous accordons le statut de vérité universelle ne sont éclairants et sans faille que si nous les regardons d'abord comme des affirmations adaptées à un monde totalement idéalisé, totalement mathématisé et somme toute très éloigné des domaines pratiques où ce matériel intellectuel sera exploité.

L'intérêt d'un tel enseignement pour fonder une démocratie, c'est donc de proposer au futur citoyen des modes de mise en accord qui font appel à sa responsabilité d'être pensant ; recherche d'accords qui ne reposent ni sur l'autorité absolue d'un supérieur infallible, ni sur l'abandon à l'irrationnel, à la chance ou la malchance, à la volonté divine.

Dans la construction de cette œuvre commune, l'erreur et la diversité des points de vue ne sont pas à considérer comme une faiblesse, une perte de temps et d'efficacité, mais au contraire comme un passage obligé vers l'obtention de solutions plus robustes, plus équilibrées, plus susceptibles de tenir dans la durée et dans l'action, surtout si cette action doit être collective.

La culture humaniste qui peut naturellement s'instaurer dans un tel apprentissage est de découvrir l'importance de la diversité des personnes et des points de vue dans la recherche d'un accord, d'accepter positivement cette différence qui relativise ma propre position, d'accepter ce métissage des idées et des approches qui m'interdit de vouloir occuper une position trop hégémonique, d'accepter tout cela donc comme une richesse pour soi et pour les autres et non comme un handicap, une perte de temps et d'efficacité.

C'est bien l'introduction à une culture humaniste que de découvrir dans l'action renouvelée la force des accords qui ne reposent ni sur la peur, ni sur la coercition imposée par l'autorité ou par un groupe de pression égoïste, mais plutôt sur la confrontation des raisons et des différents points de vue, sur le rapprochement des rationalités (accord sur les définitions, sur les principes de départ, sur les règles du jeu).

S'engager dans un débat scientifique, c'est en gros accepter le principe : "Tant que nous ne sommes pas d'accord sur les idées, ferrailions intellectuellement ; accepte que j'essaie de te convaincre car j'accepte aussi que tu me convainques. A la limite, tant mieux si en fin de compte la solution que nous adopterons n'est ni la tienne, ni la mienne exactement ; l'important est que tout cela nous ait permis de comprendre un peu mieux, d'être un peu moins naïf, d'élaborer une solution plus juste".

Toutes ces valeurs qui peuvent "naturellement" accompagner, prendre corps, devenir effectives dans un enseignement scientifique qui les reconnaîtrait explicitement et les mettrait en exergue, nous risquons de perdre une formidable occasion de les faire partager aux générations montantes si, par ignorance d'autres modes d'enseignement, par paresse intellectuelle, par refus d'affronter la difficulté, par conformisme passif ou intéressé, ou par une mauvaise analyse des enjeux sociaux et humains de l'instruction, nous réduisons l'enseignement scientifique à un enseignement de recettes et de techniques.

Je ne dis pas que le partage de ces valeurs est facile à réaliser, je soutiens seulement qu'il est totalement compatible avec l'esprit de la science et qu'il n'est pas nécessaire pour l'effectuer de supprimer des heures de maths ou de physique afin de les remplacer par des cours de méthodologie, d'instruction civique ou d'éthique scientifique ; je pense que ce partage de valeurs réclame seulement - et c'est énorme - de faire de la science en cours de sciences.

A l'opposé, l'idéologie du tout concret, de la réussite immédiate, du zéro risque, de la transparence totale, de l'information instantanée et illimitée a tendance à tuer les ingrédients de base de la démocratie et de l'humanisme et met l'homme sous la tutelle de la seule loi du profit.

En effet, la bonne technique tue le questionnement, interdit le doute, crée l'impatience : s'il y a une bonne solution il faut l'appliquer, tout de suite, universellement, et il faut se dépêcher de généraliser cela avant que d'autres ne prennent la place, il faut immédiatement abandonner les autres techniques éprouvées mais moins performantes (on voit aujourd'hui ce que cette philosophie donne au niveau des "innovations pédagogiques" ou au niveau agroalimentaire), il faut gommer systématiquement les différences qui vont s'opposer à la mise en application automatique de la technique universelle. Exit donc le doute, inutile d'apprendre à penser, à se questionner, concentrons nos efforts sur l'acquisition et la maîtrise de la dernière nouveauté (c'est extraordinaire de voir le temps que chacun passe aujourd'hui à digérer la nième version du dernier logiciel vendu à prix d'or et qu'il va bientôt falloir jeter pour laisser place à la n+1ème !)

Entendons-nous bien, pour moi il n'est pas question ici de péjorer les techniques, l'expérimental et le recours au concret, bien au contraire (personnellement, je ne comprends les mathématiques que dans la mesure où j'arrive à les mettre en résonance avec des phénomènes physiques, à les imager, à les représenter, à les métaphoriser dans d'autres domaines de réalité ; si je répare moi-même ma voiture et fais beaucoup de travail manuel, ce n'est pas d'abord par souci d'économie mais parce que je pense que le travail manuel est une véritable hygiène mentale : quand on délire trop dans l'exécution d'une tâche pratique, quand on maîtrise trop mal les techniques standard, quand on pense mal son problème, la réalité matérielle a tôt fait de vous rappeler à l'ordre, de vous rabattre le caquet si vos théories sont trop théorisantes ou vos prétentions trop simplistes du style "il n'y a qu'à...!").

Je suis donc parfaitement d'accord avec ceux qui soutiennent que rien n'est plus dangereux qu'un enseignement de théories et de modèles qui ne recouvriraient aucune réalité "concrète" et qu'il est vain, prétentieux et intellectuellement malhonnête de laisser croire qu'on peut développer longtemps une théorie sans apprendre à maîtriser simultanément les techniques correspondantes.

Par exemple, sans oublier l'échec partiel de l'enseignement des maths modernes parce que présentées de façon beaucoup trop formelle, on constate aujourd'hui l'erreur que nous avons à nouveau commise quand, par souci de justice devant les inégalités que créait la détention par certains de calculettes à mémoires, on a décidé de donner aux élèves des formulaires aux examens. Sur un plan symbolique, on leur a ainsi envoyé un mauvais message : on leur a fait croire que la connaissance de certaines formules de base, la reconnaissance de certaines formes, la capacité de se remémorer une formule ou de "vérifier" rapidement son exactitude étaient inutiles pour faire des maths, et du coup, on a piégé ces élèves dans une forme d'activité où ils ne peuvent faire que ce qu'on leur commande. En effet, pour prendre de l'initiative, il faut pouvoir libérer son esprit des tâches les plus élémentaires, et la maîtrise de techniques simples et de formules de base est précisément là pour nous permettre de penser à autre chose en s'en servant.

Ce que je veux préciser en opposant enseignement de la science et enseignement de techniques, c'est que c'est totalement différent de regarder les techniques comme étayage des philosophies, comme moyen libérateur d'énergies pour la recherche du sens, comme outils dans la construction et l'utilisation des modèles (ce qui correspond à un enseignement général) ou au contraire de considérer les techniques comme des savoirs en soi, comme des connaissances autosuffisantes (ce qui peut se concevoir à certains moments dans un enseignement professionnalisant).

A mon sens, le problème de la vie moderne n'est pas le défaut de techniques, mais le défaut d'une sagesse pratique, d'une pensée philosophique appliquée qui nous permette de maîtriser les "progrès techniques".

Le danger de la désertion des filières scientifiques, ce n'est pas à mon sens, comme une certaine idéologie cherche à nous le faire croire, le double risque : d'un côté, celui de manquer de techniciens purs, et de l'autre, de ne plus arriver à faire émerger l'élite scientifique dont un pays moderne aurait besoin pour penser et résoudre les problèmes des sociétés sophistiquées. Le vrai danger, je crois, c'est qu'il y ait de moins en moins de personnes qui puissent penser rationnellement les problèmes quotidiens du monde dans une vision économique large, et pas seulement en se laissant dominer par l'émotion, le court terme et l'égoïsme imbécile (le danger c'est qu'il y ait de moins en moins de personnes qui maîtrisent assez les connaissances et les raisonnements scientifiques pour pouvoir accepter au quotidien et faire avancer une véritable réflexion écologique).

En effet, il m'apparaît chaque jour davantage que la plupart des problèmes humains réclament pour être résolus avec humanité que nous nous reconnaissons différents dans une égale dignité. Cela est très difficile pour tout le monde, pour les techniciens purs, bien sûr, qui ont tendance à rester enfermés dans un champ trop étroit, mais aussi et a fortiori pour l'élite telle qu'elle est conçue aujourd'hui, car, si douée et dévouée soit-elle, ayant souvent été écartée de la société par la sélection et formée dans un climat de supériorité, il lui est après

coup quasiment impossible de "bien penser" les problèmes du commun des mortels tant ses modes de vie et de raisonnement lui sont étrangers.

Si donc nous percevons mieux les raisons pour lesquelles un véritable enseignement scientifique peut être considéré comme indispensable pour la très grande majorité de citoyens, non pas pour qu'ils deviennent tous des scientifiques purs et durs mais pour qu'ils acquièrent une réelle compréhension de la portée et des limites de la science, pour qu'ils acquièrent aussi, au delà des résultats, de véritables méthodes de travail individuelles et collectives (prendre l'habitude de chercher à avoir un avis, à le donner et à en exposer les raisons, découvrir que différences, erreurs et contradictions identifiées et reconnues comme telles ne font pas les guerres mais au contraire peuvent aider à les éviter), si donc sans demander à la science de nous rendre "bon et généreux" - ce qui n'est pas son objet - nous lui reconnaissons la vertu de nous donner des moyens pour mieux exercer nos responsabilités de citoyens et d'humains, ma deuxième question fondamentale est alors la suivante :

Pourquoi donc ne sommes-nous pas plus vigilants pour garder son aspect scientifique à l'enseignement des sciences?

A mon sens, notre manque de vigilance repose sur trois faits au moins :

- Sous-estimation de l'importance des valeurs attachées à la démarche scientifique et non prise de conscience de notre responsabilité à les faire partager

Je pense que nous ne voyons pas assez les valeurs dont nous venons de parler comme intimement liées à la démarche scientifique et simultanément indispensables pour fonder une démocratie non policière, pour permettre un humanisme raisonné.

Par suite, nous ne nous sentons pas directement en charge de transmettre ces valeurs, i.e. bien que la plupart des professeurs soient, je crois, assez fondamentalement d'accord avec l'essentiel de ce que je viens de dire (certains d'entre nous se montrent même souvent agacés de mon insistance : "Le grand rabâche avec ses valeurs, il enfonce des portes ouvertes!"), dans l'action, nous sacrifions à ces idéaux largement partagés d'autres valeurs plus secondaires, mais qui par leur urgence et leur accessibilité deviennent prioritaires (pragmatisme, réussite aux examens, égalitarisme, ne pas sortir du rang, ne pas bousculer les gens, préserver l'harmonie avec son entourage, etc. etc.)

- Il existe une sorte d'incompatibilité de fond entre science et enseignement

Non seulement les pratiques intellectuelles de la science (relativité des jugements, expérience du doute, travail sur l'erreur, coopération basée sur la différence, changement de points de vue et questionnement) ne structurent pas nos enseignements, mais en un certain sens elles s'y opposent (ce qu'on enseigne doit être vrai, l'élève ne doit pas douter de ce qu'on lui dit, l'erreur, les contradictions, les retours en arrière sont considérés d'abord comme du "non su", du temps perdu ; le travail collectif se prête mal à l'évaluation individuelle, l'acceptation de la différence des formes d'esprit se plie mal à la sélection, à la recherche des meilleurs, les changements de points de vue et les questions "tordues" sont incompatibles avec des

programmes chargés qu'il faut parcourir très rapidement, les tâtonnements, les productions erratiques sont insupportables quand on veut immédiatement obtenir des rédactions achevées, écrites avec les mots et la syntaxe du spécialiste, etc.)

En clair, nous aimerions bien faire de la science en classe, mais trop de facteurs semblent s'y opposer catégoriquement !

- Méconnaissance de la force et de la portée du constructivisme

Nous n'avons pas assez pris conscience que de nombreux travaux en épistémologie (Bachelard et all.), en psychologie (Piaget et all.), en didactique (Brousseau et all.) nous fournissent des outils puissants pour affronter aujourd'hui même, avec de bonnes chances de succès, le paradoxe d'un enseignement scientifique hautement souhaitable pour tous, mais pratiquement irréalisable avec les moyens didactiques traditionnels.

II. Ce que je crois avoir compris et retiens du constructivisme quand on le travaille dans un désir de plus de cohérence entre enseignement, démocratie et humanisme

1. La perte de l'illusion de la toute-puissance de la "bonne explication" ou l'apport fondamental de Bachelard

Pour moi, comme pour tout professeur, je pense, la question fondamentale est celle du sens, mais contrairement à ce que l'on souhaiterait, le sens d'un savoir n'est pas intrinsèque mais résulte de ce que chacun construit par une suite d'interactions entre ce qu'on lui enseigne, ce qu'il sait déjà (juste ou faux) sur ce domaine, ses expériences pratiques (objectivées ou non) et les rapprochements (plus ou moins pertinents) qu'il opère avec d'autres domaines de connaissance.

Face à un "même savoir enseigné" donc, chaque élève va construire des significations qui lui sont propres et qui peuvent transformer, voire dénaturer le savoir jusqu'à lui faire perdre sa consistance.

Ce que Bachelard nous dit d'essentiel, c'est que les vérités scientifiques sont rarement la simple application du bon sens (contrairement à ce que disent si fréquemment les professeurs quand ils n'arrivent pas à se faire comprendre : "faites preuve d'un peu de bon sens !"). En particulier, quand la science nous apporte une idée vraiment importante, elle le fait le plus souvent en allant contre des préjugés, contre un certain sens commun, contre un savoir localement vrai, i.e. vérifié sur les cas particuliers qui nous sont familiers.

Pour dépasser ces préjugés, ces raisonnements erronés, ces savoirs trop locaux mais bien enracinés, Bachelard nous avertit : la bonne explication risque de ne pas suffire !

En d'autres termes, puisque les théories et les concepts scientifiques sont le plus souvent élaborés pour dépasser une contradiction, pour résoudre un problème, pour répondre à des questions, Bachelard nous invite à penser que c'est en pénétrant cet ensemble, en entrant dans cette problématique qu'on a le plus de chances d'accéder à leurs significations principales. Les savoirs scientifiques se construisent souvent en remettant en question ce qui semblait aller de soi, en allant contre ce que l'on pensait "naturellement", en dépassant certains a priori, c'est probablement en prenant conscience simultanément de ce qu'on a

voulu changer et de ce que l'on a changé qu'on évitera le plus de faire des contresens quand on appréhendera des constructions intellectuelles élaborés par d'autres.

Un problème didactique majeur surgit alors : une fois la théorie achevée, sa signification globale et la signification profonde de ses différents objets risquent d'échapper ou pour le moins de ne plus apparaître de façon naturelle à ceux qui cherchent seulement à l'apprendre, parce que précisément ces derniers ne sont plus dans la position révolutionnaire (donc pleine de sens) d'auteurs d'un changement à effectuer, mais dans la position dangereusement rassurante (au niveau du sens) de ceux qui ignorent qu'il a fallu effectuer un changement, ou qui le savent mais en ont oublié les raisons, ou qui, par familiarité non questionnée, croient évident le changement à effectuer! (Par exemple, depuis la petite école on nous dit que le périmètre du disque est $2\pi R$ et l'on finit par penser que c'est du même ordre que de dire que le périmètre du rectangle est $2.(L + l)$!).

Et à ce niveau donc...ce que le constructivisme nous apporte de totalement révolutionnaire (car cela va contre le sens didactique commun, contre le désir naturel de tout professeur), c'est la destruction du phantasme de la toute-puissance de la bonne explication magistrale.

Pour l'essentiel, ce que Bachelard nous convie à accepter, c'est que la partie la plus fondamentale du sens des savoirs ne peut s'enseigner avec des explications seulement, même si elles sont complétées par la résolution d'exercices et problèmes qui les illustrent. Pour que l'élève donne un sens adéquat à ce que nous lui enseignons, il faut donc qu'il se constitue un ensemble de questions et de problèmes ad hoc, il faut qu'il partage d'une certaine façon notre problématique scientifique, faute de quoi toutes nos belles constructions rationnelles, toutes nos splendides démonstrations, toutes nos applications qui les illustrent, risquent de se transformer en beaucoup de non-sens ou de contresens.

Tout cela, je l'avais ressenti confusément très tôt en tant qu'élève et étudiant :

- d'un côté j'avais remarqué que dès que ça se complique un peu en classe, si en tant qu'élève ou étudiant on ne précède pas d'une certaine façon ce que le professeur veut montrer, ses (sur)explications arrangent rarement les choses. J'avais éprouvé sur moi-même et depuis j'ai observé dans les classes et les amphis que les vraies questions des élèves - les questions sur le sens d'une technique ou d'une théorie - et les réponses des professeurs se situent très souvent sur des planètes différentes (la question est technique et la réponse est théorique, ou inversement la question est globale et la réponse est particulière). Dans ce cas, les sur-explications rationnelles, voire les métaphores du professeur ne font souvent qu'approfondir le malentendu : pour ne pas paraître idiot devant la classe ou l'amphi ou pour faire plaisir au prof, l'élève "lâche assez vite le morceau" en faisant semblant d'avoir compris, mais tout porte à croire qu'il n'en a pas eu pour son argent ; pire, il hésitera à questionner à nouveau de peur de passer pour un imbécile!

- d'un autre côté, j'avais remarqué à l'inverse que les présentations de concepts ou de techniques considérées comme lumineuses sur l'instant, notamment les présentations très organisées, très sobres et astucieuses, dépoussiérées de toute problématique embarrassante, bref les simplifications énormes effectuées par le professeur (à l'insu de l'élève mais qu'il accueille avec enthousiasme : "ce cours est clair, avec ce prof c'est simple, on comprend tout, etc.") cachent souvent si bien le fond des choses que pour comprendre véritablement (et pas seulement appliquer dans les cas standard) il faut avoir l'audace de déconstruire le bel édifice. Sans cette déconstruction et une reconstruction plus personnelle, impossible d'arriver à donner un véritable sens (ce que l'on découvre souvent en devenant professeur ou chercheur).

Tout cela donc, je l'ai d'abord douloureusement compris en tant qu'élève, car ne voyant pas très bien le sens de ce qu'on faisait en classe, notamment en mathématiques, j'ai pendant des années été un très mauvais élève (si j'avais été de milieu défavorisé, mes études se seraient arrêtées à 14 ans, mais ayant un père philosophe j'ai pu poursuivre, et rien que pour cela je me sens une dette sociale). Je ne suis devenu "bon élève" que le jour où j'ai compris que mon besoin de sens, c'était essentiellement à moi de le satisfaire par le jeu de la déconstruction - reconstruction de ces édifices livrés tout faits par les professeurs, et par l'acharnement à dépasser les paradoxes qui ne manquent pas d'apparaître dès qu'on cherche à approfondir ce qu'on vous enseigne. Tout cela donc, je l'avais instinctivement compris et intériorisé au fil des années, mais devenu enseignant..., je me suis empressé de l'oublier ou plutôt de le rationaliser naïvement : si je ne comprenais pas toujours en tant qu'élève, c'est parce que mes maîtres expliquaient mal, ne donnaient pas assez d'images concrètes ou de représentations dans différents registres. J'ai donc pendant des années soigné énormément mes explications (notamment les explicitations sur le sens des définitions, sur la teneur des hypothèses, d'un théorème, etc.) et je faisais très attention à proposer moult comparaisons et métaphores pour aider mes élèves ou mes étudiants à ... "comprendre" !

En retour, ce qui est bien naturel, j'exigeais de mes étudiants ... qu'ils comprennent mes bonnes explications ! Pour certains c'était parfait, mais pour d'autres, et scandale ! il y en avait, ça ne marchait pas ! J'exerçais alors inconsciemment une certaine violence (comme je l'avais subi) sur ceux qui avaient l'audace de ne pas se plier à mes efforts pour les aider à comprendre : je leur reprochais plus ou moins explicitement de ne pas jouer le jeu ! de ne pas travailler assez ! de le faire exprès ! de n'être pas à leur place ! etc. etc.

Le pire, c'est que cette débauche de métaphores et de bonnes explications sur le sens, je l'exerçais précisément sur ce que Bachelard nomme "obstacle épistémologique" : ces savoirs tellement énormes, tellement révolutionnaires au niveau du changement de sens qu'ils introduisent, qu'il n'y a pratiquement aucune chance de les faire passer ou de les dépasser par de simples explications ou de subtiles métaphores, ces savoirs pour lesquels ce qu'il faudrait expliquer d'un coup pour les introduire est trop difficile pour que ça puisse se simplifier facilement sans falsification grave sur le sens - nous y reviendrons.

Devant cette mise en évidence de la non-transparence du sens, un enseignement scientifique démocratique est-il encore envisageable ?

2. L'émergence d'un nouveau mode cognitif ou l'apport décisif de Piaget

Si pour une part le sens ne peut s'enseigner directement, si même les savoirs les plus importants se présentent sous forme d'obstacles épistémologiques, que faire pour favoriser un enseignement en compréhension ?

- Laisser faire la nature ! Quelques élèves, quelques étudiants construisent seuls du sens à partir des explications qui leur sont données et, parfois même, malgré ces explications (ils ont le courage de retravailler le cours, l'audace de le reconstruire en faisant autrement, ils se posent spontanément des foules de questions et de problèmes, et même s'ils ne comprennent pas tout, tout de suite, ils en comprennent assez pour que ce soit passionnant et pour que l'alchimie de la compréhension et du sens fonctionne pour eux dans le temps). Ce "laisser faire la nature" est plus ou moins le choix ou le non choix majoritaire de l'école et

surtout de l'université qui sélectionne ainsi son élite ; pour les raisons éthiques et politiques évoquées précédemment, il me paraît très insatisfaisant.

- Regarder comment la plupart des jeunes enfants surmontent victorieusement le formidable obstacle de la compréhension du monde qu'ils découvrent, du langage qu'ils ignorent, des codes de vie nulle part recensés, et tout cela alors que précisément le monde adulte ne peut que très mal le leur expliquer avec des mots puisque le sens des mots et des symboles ne leur est pas connu.

La façon dont Piaget (et de façon générale la psychologie cognitive) a mis tout cela en lumière va nous permettre d'imaginer non plus un mode d'enseignement, mais deux modes complémentaires bien que diamétralement opposés, modes que le professeur pourrait exploiter tour à tour en fonction des savoirs visés, des étapes sur ces savoirs et des problèmes de sens qu'ils posent.

Nous tirons de ces recherches en épistémologie et psychologie cognitive la modélisation suivante :

Pour enseigner, le professeur a le choix entre deux modes cohérents au plan philosophique et didactique : le monstatif et le constructivisme.

Le mode (dé)monstratif : logique d'exposition, clarté, exhaustivité, exactitude, rapidité

Quand il semble que le sens construit par l'élève hors du contrôle direct du professeur ne risque pas d'oblitérer la majeure partie du discours magistral, il est convenu que le professeur adopte un mode d'exposition du savoir dans lequel il montre, démontre, explique tout ce qu'il présente, il est alors le garant de la vérité et de la pertinence de tout ce qui s'énonce sur ce mode.

Pour garder la clarté et la logique de l'exposition, pour que l'explication tienne dans un temps circonscrit, le professeur ne pose donc pas de vraies questions et ne souhaite pas qu'on lui en pose trop ; par exemple, quand il donne la parole à un élève, c'est parce qu'il sait en gros ce qu'il va dire (juste ou faux) et veut s'en servir pour illustrer son propos, pour souligner un aspect. Dans ce mode, (toujours par souci de clarté, de logique et de rapidité) le savoir est présenté de façon non problématique, en ce sens que le professeur le débarrasse de tous les errements qui l'ont fait émerger et (excepté quelques recommandations de prudence) il atténue la portée des fausses pistes et des paradoxes auxquels il pourrait donner lieu.

Dans ce mode, l'élève doit faire une confiance totale à son professeur au niveau épistémologique, il écoute, note et ne le questionne que si des éléments externes semblent manquer (par exemple il ne peut lire une formule, un symbole, le professeur utilise un mot qui lui est totalement étranger), mais il ne fait jamais cela de façon polémique ou revendicative, il est "bon élève".

Au niveau du sens, l'élève essaye de se calquer sur son professeur ; par exemple, s'il est questionné, il tente de répondre dans le sens auquel il pense que le professeur l'invite, il ne se rebelle pas de ne pas tout comprendre même si certaines choses lui paraissent inutiles, fausses ou absurdes. En clair, l'élève fait le pari que tout ce que le professeur énonce doit être compréhensible, juste et pertinent, il s'abstient donc de suivre son idée si elle est contraire à celle du prof et il retient son envie de demander des explications à chaque fois qu'il ne comprend plus, en se disant que tout cela s'éclaircira probablement a posteriori, quand il reprendra son cours, fera les problèmes et les exercices d'application.

Les deux moments où ce mode didactique semble le mieux adapté sont

- quand ce que l'on veut enseigner "paraît" suffisamment simple et clair : l'expérience des années précédentes montre qu'il n'y a pas là de vraies sources d'incompréhension, ou bien s'il y a des difficultés, elles ont déjà été travaillées, et il faut maintenant opérer une synthèse, mettre de l'ordre sur des notions délicates, mais les élèves les connaissent déjà assez bien, ils savent de quoi on parle et où on va ;
- quand, au contraire, il est évident que ce qu'on veut enseigner ne peut s'éclairer spontanément, dans un temps donné, par la simple action rationnelle des élèves ou des étudiants, ou par un débat dans lequel les idées arrivent dans le désordre : il s'agit de présenter un nouveau mode de pensée, une preuve technique ou très élaborée qu'aucun élève ne peut inventer, il s'agit de définir de nouveaux objets, de faire tenir debout un élément de théorie qui ouvre un nouveau champ d'investigation, ou au contraire en fin d'une phase constructiviste, il faut tirer les conclusions d'un débat chaotique, il faut institutionnaliser le savoir mis en jeu : synthétiser un ensemble d'expériences, nommer, réordonner, achever les preuves et conclure après une élaboration erratique.

Le mode constructiviste (tutoiement du théorique, catalyseur de sens, révélateur des contresens)

Quand on peut craindre trop de perte de sens si le savoir est "montré" directement, en particulier quand le savoir va trop contre des savoirs et les pratiques antérieures, a fortiori quand il s'agit d'aborder un obstacle épistémologique, il est convenu que le professeur n'expose plus le savoir mais le problématise, c'est-à-dire que, sans même le nommer directement ou indirectement, il cherche à susciter un champ de questions et de thèses chez l'élève, non pas pour que ce dernier invente, découvre, construise le savoir qu'il veut enseigner, mais pour que ce savoir que l'élève ignore encore, lui apparaisse comme un besoin, comme une nécessité scientifique (et non comme une nécessité didactique : l'élève n'a pas à aller rechercher ce savoir dans le répertoire de ce qu'on lui a appris récemment), comme répondant à des questions qu'il se pose, comme devant avoir une certaine signification.

Pour arriver à cela, le professeur s'appuie quand c'est possible sur des situations fondamentales : situations paradigmatiques qui ont vocation à créer le besoin du savoir que l'on veut enseigner et à en configurer des significations pertinentes, compatibles avec les développements ultérieurs.

Dans ce mode, le professeur, s'il garde l'entière responsabilité didactique (il est garant qu'on apprend), se dessaisit par contre de la responsabilité épistémologique qu'il assurait dans le mode précédent (il ne se prétend plus être garant du vrai, du faux et de la pertinence; il fait momentanément la dévolution de cette responsabilité à la classe, à l'amphi).

Le professeur crée donc des difficultés là où il se le serait interdit dans l'autre mode, suscite des conflits, organise une genèse artificielle de problèmes et de contradictions susceptibles de créer le besoin des théories et concepts qu'il veut enseigner (il recrée artificiellement un espace d'expérimentation et de contradictions qui, sinon, risqueraient de n'apparaître que très lentement ou pas du tout pour une majorité d'élèves).

Dans ce mode l'élève, la classe, l'amphi doivent comme dans le précédent, et peut-être encore plus, continuer à faire confiance à la didactique du professeur ("je ne sais pas où il

nous emmène, mais je sais qu'à terme, si on joue le jeu, on va apprendre quelque chose qui est au programme mais que ce professeur ne peut nous expliquer directement").

Pour apprendre, l'élève doit donc continuer à être docile au niveau de sa participation au "jeu cognitif" organisé par le professeur (il n'a pas à refuser de travailler le problème qui lui est posé - il peut le juger absurde mais alors il devra expliquer pourquoi - il n'a pas à parler intempestivement de tout et de rien, etc.) ; par contre il doit maintenant prendre des initiatives et des risques au niveau épistémologique (proposer des conjectures, des preuves, des contre-exemples, manifester ses doutes, proposer ses explications, en exiger de ceux qui le contredisent).

En clair, contrairement au mode précédent (où il devait taire ses insatisfactions intellectuelles et interroger sur le mode "je n'ai pas bien compris..., je n'ai pas entendu"), l'élève doit pouvoir s'adresser au groupe classe en disant "je pense que ...et voilà mes raisons" et se rebeller contre tout argument d'autorité qui sanctionnerait son propos rationnel.

Puisque la fonctionnalité de ce mode est de forcer l'apparition du sens par rapprochement d'idées et affrontement des obstacles qui s'opposent à la compréhension, ce qui prime maintenant, c'est que les élèves disent ce qu'ils pensent être vrai (même et surtout si c'est faux), ce qu'ils croient comprendre, qu'ils expliquent ce qui les convainc et ce qui les laisse perplexes. Toute action pour baisser la garde trop tôt au niveau épistémologique, pour ne pas aller au conflit en faisant semblant d'être d'accord, toute action pour chercher à découvrir ce que le maître pense afin de se calquer sur son opinion sont des façons pour l'élève de casser le mécanisme cognitif mis en jeu dans ce mode ; et pour le professeur, toute action tendant à manipuler le débat pour que les choses viennent "miraculeusement" dans le bon ordre, pour atténuer les conflits d'idées en laissant disparaître son opinion, pour faire disparaître prématurément un vocabulaire impropre, pour rectifier ou compléter subrepticement les raisonnements erronés ou inachevés (afin que ça avance et que ce qui est écrit au tableau soit correct) sont autant de façons d'appauvrir la fonction de catalyseurs de sens que sont le dépassement des contradictions, la transformation progressive d'un vocabulaire impropre, la rectification par nécessité épistémologique (parce qu'on s'aperçoit peu à peu que ça ne montre rien, qu'il y a des contre-exemples) des raisonnements erronés ou incomplets.

Deux remarques à propos de ces modes didactiques

a) Les excès du retour de balancier : le mode monstratif, quand il est exclusif, fait des ravages au niveau du sens (cela devient totalement évident dans un enseignement de masse de la maternelle à l'université) ; comme, de plus, il a été rendu impopulaire par l'idéologie dominante issue d'un constructivisme dont la fonction a été mal comprise, nombreux sont ceux qui aujourd'hui vilipendent son aspect le plus voyant, le cours magistral, le taxe de tous les maux, demandent sa suppression ou le pratiquent honteusement. (L'élève devrait, entend-on souvent dire, construire lui-même son propre savoir : mystification totale ! Et c'est au nom de cette mystification qu'on va interdire au professeur de "faire cours" !)

A mon sens, il ne faut surtout pas supprimer cette colonne vertébrale de la transmission du savoir qu'est le cours magistral, mais il faut par contre apprendre à mieux cibler sa fonction, à mieux délimiter sa place et le restreindre à cela pour qu'il ne provoque pas les effets pervers classiques (les pertes de sens et le dressage au conformisme qui apparaissent

inexorablement quand le monstratif est insuffisamment contrebalancé par des phases constructivistes). Nous y reviendrons à propos du contrat didactique.

b) Nécessité d'organiser des phases constructivistes

Le mode constructiviste, une fois identifié, apparaît comme incontournable : que chacun fasse un peu d'introspection pour voir ce qu'il a réellement compris et retenu de ce qu'on lui a enseigné et il constatera très probablement que ce qui s'est intériorisé l'a été à la suite de phases constructivistes, pas toujours perçues comme telles, car pas forcément voulues, organisées et explicitées par l'enseignant.

Personnellement, le professeur qui m'a fait faire le plus grand saut en avant dans la compréhension des mathématiques avait la double caractéristique de "se planter" en cours (par manque de préparation et par trop d'occupations administratives), mais au lieu de sortir le lapin du chapeau, il avait l'honnêteté intellectuelle et le culot de chercher à voix haute.

Cette double obligation l'amenait à problématiser le cours de façon inhabituelle : "Qu'est-ce que je cherche au juste ? Pourquoi je n'y arrive pas en m'y prenant ainsi ? Regardons dans un cas particulier ! Si je modifiais un peu les hypothèses ou la conclusion ! etc.", et comme il ne trouvait pas tout de suite et explorait à voix haute de fausses pistes, il nous montrait ainsi comment on pouvait chercher intelligemment en mathématiques.

Tout en "râlant comme un pou" contre ce professeur qui ne préparait pas assez ses cours, mais fasciné par cette façon de poser les problèmes sur la table, j'entrais sans le vouloir dans son contrat didactique improvisé, c'est-à-dire que je cherchais avec lui ou contre lui et me transformais sans m'en rendre compte par cette nouvelle approche.

Ce n'est qu'au bout de deux ou trois mois que j'ai compris que j'étais en train de changer ma façon de penser les mathématiques, découvrant alors qu'en changeant de regard et de méthodes je pouvais moi aussi avoir des idées mathématiquement intéressantes.

Il s'agit là, bien entendu, d'un constructivisme sauvage peu recommandable car il n'avait pas d'effets très heureux sur la majorité des étudiants, qui se sentant trop en rupture de contrat, attendaient passivement que le cours reprenne (c'est-à-dire que le professeur, ayant retrouvé sa solution, l'énonce proprement afin qu'ils puissent la noter sans ratures), mais on peut néanmoins dire que le mécanisme qui faisait avancer ceux qui cherchaient avec ou contre lui était bien de type constructiviste.

Enfin, on peut remarquer que la "nature" a souvent des vertus didactiques constructivistes très efficaces, par exemple quoi de mieux pour un jeune chauffeur qu'un bon petit accident où il n'y a que de la tôle et des égratignures, cela peut mieux que la répétition quotidienne des conseils de prudence des parents lui en faire comprendre le bien-fondé et lui éviter de provoquer un accident beaucoup plus grave quelque temps après.

Le lien fondamental entre l'épistémologie et le cognitif

Nous venons de voir que l'analyse de la transmission des savoirs dans une perspective humaniste et démocratique nous conduit à porter une attention toute particulière à la préservation du sens dans nos enseignements. A la lumière des recherches apparaît la nécessité de prendre en compte et de bien distinguer deux modes didactiques, le monstratif et le constructivisme, dont chacun a ses caractéristiques propres et ses exigences contradictoires.

Pour que ces deux modes cohérents ne se retrouvent pas rabattus sur un mode hybride, le pseudo-constructivisme, incohérent au plan didactique et philosophique, mais largement répandu, semble-t-il (comme on le verra dans la troisième partie), il nous faut, pour ne pas entretenir en classe un malentendu fondamental sur le sens de nos actions didactiques, clarifier les choses sur le type de regard que nous pouvons porter sur le savoir.

3. Deux regards bien différents sur le Savoir

On peut envisager le savoir essentiellement comme :

- externe à celui qui connaît

c'est alors ce qu'on enseigne, ce qui est... "indiscutablement vrai", ce... qu'il faut savoir !
ou au contraire comme

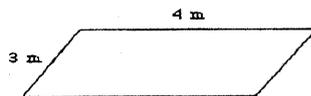
- interne à celui qui connaît

c'est alors un outil de transformation de la personne par la réflexion.

Prenons un exemple pour préciser cette distinction :

A la question (impertinente à ce niveau) :

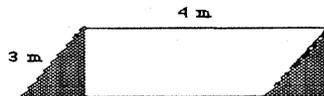
Quelle est l'aire de ce parallélogramme de côtés 3 m et 4 m ?



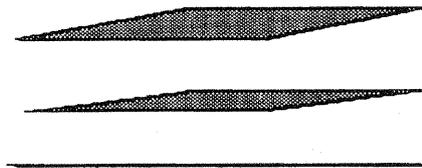
plus de 50% des étudiants de première année d'université répondent :

$$A = 12 \text{ m}^2 \text{ !!!}$$

Certains donnent "spontanément" une "preuve" :



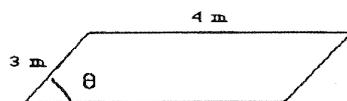
Rarissimes sont ceux qui mettent en évidence la variable "aplatissement" !



Pourquoi ???

Si par contre on pose la ("même") question :

Quelle est l'aire de ce parallélogramme de côtés 3m et 4m ?



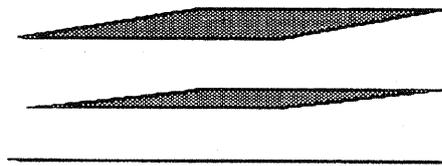
la réponse majoritaire devient : $A = 12 \cdot \sin(\theta)$.

Formule exacte qui "dit presque tout" !

Constat

La formule exacte est "connue de tous", donc nos étudiants ont appris quelque chose à propos de l'aire et peuvent le mettre en œuvre si on les interroge dans le registre où ils ont appris ; mais nous aurons tendance à dire que ce qu'ils connaissent n'est encore qu'un savoir externe puisque dans l'action, cela ne leur dit rien sur l'aire réelle de la figure mise en jeu, cela ne leur donne pas la force, la sagesse de résister à la pression de la question "quelle est l'aire?" (sous-entendu dans un contrat didactique classique : il y en a une et on peut la calculer avec les paramètres donnés. Donc ici : aire = longueur \times largeur). C'est donc un savoir non intériorisé !

Le Savoir interne ici, ce serait : A défaut de connaître l'inclinaison



je ne peux répondre car tout est possible entre 0 et 12 m^2 !!!

Ce que m'apporte ici l'éclairage scientifique en terme de connaissance sur le monde, ce n'est pas essentiellement la connaissance d'une formule exacte que je peux mettre en œuvre quand tous les paramètres pertinents sont désignés (enseignement de techniques), c'est la capacité de subodorer qu'ici un paramètre caché (la hauteur ou l'angle) joue un rôle déterminant sur ce qui nous intéresse : l'aire.

Ce que m'apporte globalement l'intériorisation de la démarche scientifique en terme de participation au débat démocratique, c'est la sagesse de savoir qu'il ne faut pas se précipiter sur les solutions évidentes sans les travailler un peu au préalable, sans essayer de les "étirer", de les "déformer" pour voir si elles résistent, et ce malgré et surtout quand l'injonction m'est faite de répondre instantanément par des questions de la forme : "quelle est ...?".

L'intériorisation scientifique change mon regard sur le monde en me montrant que le plus souvent, les problèmes en apparence très simples sont mal posés et qu'il convient de les reformuler avant de se précipiter à répondre, car suivant la (re)formulation qu'on effectue, les réponses peuvent différer.

Ici, par exemple, à la question "quelle est l'aire ...?", on pourrait rétorquer : "si vous me dites qu'il s'agit d'un parallélogramme semblable à celui que vous représentez, j'aurais envie de répondre qu'il vaut environ entre huit et dix mètres carrés, mais si vous voulez plus de précision il faudra me préciser l'angle ou la hauteur. Si par contre vous déclarez que vous laissez cette variable libre (ce qui est la convention du mathématicien, quand il ne dit rien), alors je vous réponds que tout est possible entre 0 et 12 mètres carrés, et que suivant ce que vous voulez faire, cette variabilité de l'aire pourra être exploitée comme un avantage ou au contraire subie comme un handicap, suivant que c'est vous qui contrôlerez cette variable ou

quelqu'un d'autre. Sachez enfin que la formule : Aire = $12 \sin(\theta)$, non linéaire en θ , vous dit exactement comment agit cette variable angle sur l'aire de ce type de parallélogramme."

Il résulte de tout cela que ...

Nous savons assez naturellement enseigner les savoirs externes et nos élèves savent assez bien apprendre la partie technique de ces savoirs, mais quel est l'intérêt véritable de ces apprentissages s'ils ne se transforment pas en savoirs internes ?

Nous savons que ces savoirs intériorisés "D'où vient ce que je pense être vrai ?" sont nécessaires à tous pour permettre à chacun d'assumer ses responsabilités de citoyen et d'humain, puisque ce sont eux qui aident à démasquer préjugés et croyances irraisonnées.

Mais ces savoirs intériorisés

- ne s'enseignent pas... "naturellement",
- sont très délicats à évaluer,
- vont "contre" la culture courante !

Devant toutes ces objections, sommes-nous donc condamnés à observer que l'essentiel, la construction du sens, l'intériorisation des savoirs restent et resteront toujours l'apanage d'une petite élite et que l'école ne peut rien (malgré ses désirs égalitaires généreux) pour rétablir un équilibre des chances à ce niveau ?

Le dernier gros obstacle à surmonter pour aller vers un enseignement respectant la construction du sens : la création d'un outil pour changer de mode didactique.

Si vous me suivez dans l'analyse que j'effectue ici dans une perspective humaniste et démocratique des éléments cruciaux mis en évidence par les recherches sur l'enseignement, vous devez arriver à la conclusion que, pour que l'utopie que "beaucoup puissent comprendre beaucoup" ne soit pas perdue d'avance, il faut que le professeur puisse faire alternativement appel à la docilité intellectuelle de l'élève (cours magistral) ou à sa responsabilité épistémologique (dévolution à l'élève d'une véritable responsabilité scientifique).

Si ce double jeu réussit, on peut alors escompter qu'au delà des savoirs dont il hérite en apprenant, l'élève se construira simultanément un en soi sur lequel il pourra s'appuyer en tant que citoyen et humain, il pourra se dire : "le savoir que j'ai appris m'a transformé en ce sens que d'une part je possède des connaissances attestées et reconnues à l'extérieur, et d'autre part ce que je sais, je ne le connais pas n'importe comment, je l'ai suffisamment confronté à d'autres domaines de réalité, j'en connais assez les limites et la portée pour oser m'en servir dans l'action, je sais jusqu'où je peux l'exploiter pour mener des raisonnements non simplistes".

En clair, il faut que le professeur puisse jongler entre deux modes d'enseignement qui, bien qu'ils soient complémentaires au niveau du but visé, demeurent néanmoins totalement contradictoires au niveau de leur logique interne.

Or rien n'est plus difficile pour un professeur que de changer de registre. Je me demande toujours comment des imitateurs peuvent au cours d'un sketch passer instantanément d'un personnage à l'autre ! Heureusement pour eux, ils doivent seulement amuser et créer de

l'émotion, ils n'ont pas de fonction didactique à assumer et peuvent ainsi mieux se concentrer sur leur propre jeu. Ils doivent bien entendu sentir la salle et surveiller qu'ils provoquent bien les émotions voulues - thèse de Diderot - mais ils n'ont pas pour fonction de faire en sorte que la salle elle-même comprenne les mécanismes de leur imitation et devienne capable de les pratiquer.

Le changement de jeu didactique du professeur est donc plus délicat d'une certaine façon, puisque face au "jeu de l'apprentissage", il n'y a plus un seul acteur mais deux, le professeur et l'élève, voire le groupe d'élèves ou d'étudiants ; le professeur peut d'une certaine façon faire passer "en force" son jeu monstratif, mais le jeu constructiviste, lui, il ne peut que le proposer, et si l'élève, la classe, l'amphi ne suivent pas, il ne se passe rien ou la foire d'empoigne.

Rien n'est plus difficile aussi pour l'élève et a fortiori pour le groupe classe ou amphi que de passer d'un jeu à un autre, puisque d'aucuns à certains moments se sentant mieux dans un jeu vont faire pression pour y rester, alors que d'autres se sentant mieux dans l'autre vont exercer une pression inverse, et d'autres enfin, ne comprenant plus rien à ce qui se passe, ne vont plus jouer du tout ou vont "botter en touche".

A cette difficulté de changement de jeu s'ajoute la difficulté que culturellement, pour le moment, les deux jeux, le monstratif et le constructiviste, n'ont pas valeur égale : autant l'enfant, s'il n'est pas trop surprotégé par ses parents, se livre spontanément à un jeu constructiviste qui lui fournit peu à peu ses savoirs internes de base (encouragé par ses parents, il ne cherche pas à se soustraire à ce mode didactique car d'un côté ça l'amuse et de l'autre il y va de sa survie pour apprendre à devenir un petit d'homme), autant l'élève et l'étudiant ont plus tard de bonnes raisons de refuser un tel jeu constructiviste en classe. En effet, après avoir inconsciemment intériorisé une grande partie de leurs savoirs de base de cette façon, il leur est enseigné depuis des années beaucoup de connaissances qui, bien que peu intériorisées, leur permettent néanmoins de passer avec succès examens et concours.

Si donc le professeur ne veut pas devoir s'appuyer alternativement sur une autorité excessive, puis sur une démagogie réductrice des savoirs, qui auront tôt fait de miner son entreprise didactique, il faut qu'il dispose d'un outil de pilotage de son groupe classe ou amphi adapté à l'objectif à atteindre et à l'inertie de son navire.

Tous nos élèves et nos étudiants souhaitent réussir, combien désirent connaître sont prêts à changer de façon d'apprendre pour savoir autrement ?

Il est clair que pour la majorité d'entre eux, la plupart de leurs savoirs restent totalement externes, mais en ont-ils conscience, ont-ils repéré le rôle du passage de l'externe à l'interne, ont-ils pris acte que ce qu'ils savent vraiment n'est que ce qu'ils ont intériorisé, et ont-ils compris comment s'est faite pour eux cette intériorisation ? On peut parier que dans l'état actuel du système, leur réflexion didactique spontanée frôle par moment ces questions (surtout quand ils échouent fortement), mais reste néanmoins infiniment éloignée des exigences cognitives du constructivisme au niveau des réponses pratiques qu'ils y apportent !

Il manque donc au professeur qui vise la construction du sens et l'intériorisation des savoirs, un savoir théorique qui l'autorise (qui légitime rationnellement pour lui, pour les élèves, les parents, les collègues, etc.) à adopter des modes d'enseignement très différents en fonction de la complexité des savoirs mis en jeu et un moyen de faire comprendre au coup par coup à

l'élève, à la classe, à l'amphi qu'il serait intéressant d'accepter un changement de mode didactique.

4. Le contrat didactique ou l'apport fondamental de Guy Brousseau

Le contrat didactique est l'explicitation du fait qu'en présence d'un savoir, toutes les interactions d'un professeur avec ses élèves n'ont de sens et de légitimité que si elles sont vues comme correspondant à la double intention : pour le professeur, enseigner ce qu'il sait à ses élèves, et pour l'élève, apprendre ce que ce maître leur enseigne!

Le contrat didactique est donc ce formidable concept auquel Guy Brousseau va donner une portée épistémologique énorme avec la notion de situation fondamentale (situation d'initialisation du sens des concepts et théories, de dévolution à l'élève d'un début de responsabilité vis-à-vis de la vérité et de la pertinence de ce qui va s'élaborer), concept de contrat qui, retravaillé d'une certaine façon par Yves Chevallard, va (re)donner tout son sens à la notion de cours magistral (vu comme moyen n'ayant pas d'équivalent à ce jour pour faire partager une part de ce qu'on connaît à l'issue d'une construction intellectuelle élaborée).

Ce double usage du contrat donne la possibilité au maître de travailler explicitement ce qui me paraît être central dans notre vision de l'enseignement : la transmission aux élèves, aux étudiants de l'héritage culturel que représentent d'une part les savoirs constitués en terme de résultats et de techniques, et d'autre part le savoir regardé comme méthodes de travail, comme philosophie pratique, comme mode de raisonnement.

Le contrat est donc cet outil intellectuel qui, explicité sur le devant de la scène didactique, va permettre aux acteurs, professeur et élèves, de jouer en conscience, dans le respect mutuel et dans la dignité, le double jeu : à certains moments, pour apprendre avec ce maître je dois moi, élève, accepter de n'avoir aucune responsabilité sur le sens et la pertinence de ce qu'il me propose (je m'assujettis totalement à la pensée de ce maître) et moi, professeur, je dois oser assumer pleinement cette responsabilité, en particulier je ne dois pas me cacher derrière l'élève en lui faisant dire ce qu'il ne peut pas inventer (dérapage pseudo-constructiviste). A d'autres moments, quand on m'y invite, je dois moi, élève, pour comprendre et pour intérioriser ce qu'on m'enseigne, accepter de quitter ma position d'assujettissement intellectuel pour assumer en vraie grandeur une responsabilité sur le sens et la pertinence des idées qui circulent en classe, je dois alors accepter d'engager des convictions personnelles et les défendre rationnellement ; symétriquement moi, professeur, je dois à ces moments m'effacer du devant de la scène au plan épistémologique, je dois en particulier accepter de ne plus tenir le premier rôle et par suite assumer la perte du pouvoir que me confère habituellement la reconnaissance institutionnelle de ma supériorité au niveau de la vérité et de la pertinence.

Comme le contrat didactique permet au professeur de faire cette dévolution, il n'en perd pas pour autant la face, et par suite son autorité magistrale (les élèves savent qu'il sait mais s'interdit d'intervenir pour les laisser penser, ce qui n'a rien à voir avec la situation catastrophique - ou en tout cas, qui ne peut se répéter souvent sans miner le contrat - où lors d'un cours magistral ou d'une conférence, l'orateur est interrompu par un participant

qui se lève pour dire publiquement "votre explication ne me convient pas, en voici une meilleure !" ou encore "ce que vous avancez est faux et je vous le démontre !")

Le contrat est donc l'explicitation de la possibilité et des raisons de ce double jeu : celui de la délégation par l'élève à son prof de toute responsabilité intellectuelle fondamentale (mode démonstratif, cours magistral) et celui de la dévolution par le professeur à l'élève ou au groupe classe ou amphitheâtre d'une part importante de la responsabilité scientifique (mode constructiviste, situations fondamentales, débat scientifique).

C'est cet ensemble qui, à mes yeux, fonde la didactique des sciences ! Il y a bien sûr quantité de travaux qui ont depuis vingt ans apporté des éclairages complémentaires sur ce noyau dur, mais sincèrement je ne pense pas être partial ou réducteur en disant que pour moi l'essentiel est là ; en tout cas, c'est ce dont je me sers tous les jours pour enseigner autrement et c'est ce qui nous a permis, par exemple, de concevoir et de réaliser une didactique qui tend à respecter à la fois l'enseignement magistral d'un contenu strict en amphitheâtre et son intériorisation par une majorité d'étudiants : le débat scientifique en cours de mathématiques.

Le didactique - La didactique

Nous dirons donc qu'il y a du didactique lorsque, face à un savoir, un contrat (le plus souvent implicite) - le contrat didactique - place des personnes dans les positions dissymétriques de maître et d'élève.

Ce contrat

- traduit une double obligation :

"enseigner ceci ... à... ceux-là , apprendre cela ... avec... celui-ci",

- définit des rôles :

ceux que maître et élève(s) s'attribuent pour marquer le nécessaire décalage entre celui qui "sait" qu'il sait (autrement), et celui qui sait "qu'il ignore" (ou ne sait pas encore de la même façon).

La didactique, c'est le pari de la rationalité : pour tenter de mieux comprendre et maîtriser le réel (le didactique), on le "met à distance" en construisant théories et modèles.

Cet effort théorique a un triple effet :

a) D'abord il replace le professeur qui prépare son cours, analyse le comportement de sa classe ou de l'élève, dans une position plus objective et plus respectueuse de l'altérité de son ou ses interlocuteurs.

Acceptant la pertinence de cette position théorique, le professeur va se dire : "ce qui m'intéresse c'est le réel de mon enseignement, c'est le progrès de tel ou tel élève, ce qui prime donc, c'est le didactique, mais j'accepte que ce réel sur lequel j'exerce mon métier ne me soit pas directement accessible, je ne peux le penser qu'au travers de modèles et les modèles par définition ne sont pas la réalité".

Adoptant cette position scientifique je vais alors, en tant que professeur, m'interdire de dire à un élève ou à un étudiant (tout du moins sans lui faire un clin d'œil complice) : "je sais ce que vous pensez !", "vous ne pensez rien !" , "vous faites n'importe quoi !" , "vous refusez

d'apprendre, etc." et je serai obligé, non par politesse, psychologie ou démagogie, mais par conviction intime et parce que c'est le message que je veux lui faire parvenir, de m'adresser à lui de la façon suivante : "avec ce que vous manifestez je suppose que vous pensez ceci ou cela, avec ce que je vois vous me donnez l'impression de ne penser à rien, de ne rien vouloir faire, je n'arrive pas à donner du sens à votre démarche, etc ."

Et on s'aperçoit rapidement que cette position, infiniment plus respectueuse du travail souterrain de chacun pour apprendre et comprendre, permet de traiter positivement les erreurs et les atermoiements comme des passages obligés vers un savoir intériorisé, permet de travailler les situations erratiques et de transformer les échecs momentanés en occasions d'apprendre et de comprendre plus profondément. (Si on se replace un instant dans la perspective d'un enseignement permettant l'initiation à la vie démocratique, on est obligé de convenir qu'un groupe de personnes qui adoptent une telle attitude les unes vis-à-vis des autres, a plus de chances d'arriver à des ententes profondes que celui où chacun est persuadé connaître parfaitement les pensées et arrière-pensées de tous les autres).

b) Ensuite cet effort théorique replace au centre de nos préoccupations la question première des droits et devoirs de chacun dans la relation didactique :

* par le contrat le professeur a le devoir d'enseigner un savoir (celui du programme) à des personnes (ses élèves ou ses étudiants) : peut-il s'abstenir de leur faire cours ? (est-on certain que sans la colonne vertébrale d'un cours construit l'élève pourra apprendre ?)

* par ce contrat le professeur doit aussi permettre à ses élèves de comprendre et d'intérioriser : peut-il ne faire que du monstatif ? est-il assuré que sans situations constructivistes fondamentales l'élève pourra donner du sens à ce qui lui a été si magistralement enseigné, pourra rectifier les malentendus et contresens qui accompagnent presque toujours les échanges frontaux ?

* par ce contrat l'élève a le devoir d'apprendre ce que lui propose son maître : peut-il se révolter contre le savoir et les méthodes proposées par le professeur ou doit-il s'assujettir?

* par ce contrat enfin, l'élève doit faire sien (intérioriser) ce qui lui vient de l'extérieur: a-t-il le droit d'exiger du maître qu'il "fasse cette intériorisation" de force ou doit-il accepter le jeu de la responsabilité et du risque des situations constructivistes qui lui sont proposées pour cela ?

Un point très important sur l'autorité du professeur

J'observe le plus souvent que si le professeur se soumet lui-même aux devoirs du contrat didactique qu'il explicite, il peut à chaque fois que c'est nécessaire donner les raisons de l'autorité dont il doit faire preuve (par exemple en distribuant la parole, en exigeant que tout le monde se taise et écoute quand une personne expose son point de vue, en arrêtant un débat - avec explications - s'il pense qu'il est allé assez loin pour produire du sens, etc.) afin de bien distinguer autorité et autoritarisme, ce dernier étant vécu par l'élève comme une violence, comme un acte de domination d'un adulte exerçant son pouvoir sur des jeunes.

En exerçant toute son autorité de maître et rien que celle-là, le professeur par contre se montre le gardien de la décision commune : nous avons décidé d'apprendre ensemble et nous avons vu qu'il fallait réunir un certain nombre de conditions pour que ça marche. Ses interventions sont donc perçues par les élèves comme la garantie d'un attachement à leurs progrès : il ne laissera pas aller les choses au point où on n'apprend plus ou plus assez.

Je suis souvent interloqué par la violence inefficace d'une autorité magistrale qui s'exerce sans se justifier ("Taisez-vous! Ce que vous dites est stupide! Vous feriez mieux de réfléchir avant de parler ! etc."). Je suis par contre souvent époustoufflé de la force non violente d'une autorité magistrale qui s'exerce en classe en se référant toujours au contrat (l'élève accepte plus qu'on ne le croit le type de contrainte : "j'exige cela de vous ... pour que vous puissiez apprendre et comprendre" et en moyenne il coopère, même si c'est difficile et que rien n'est jamais définitivement gagné).

c) Enfin, la didactique, et en particulier le concept de contrat didactique, oblige à prendre acte de la non transparence du sens et à accepter un fait qui va à l'encontre des croyances pédagogiques les plus profondes des scientifiques, notamment des mathématiciens : nos énoncés dépersonnalisés et détemporalisés le sont-ils vraiment pour tous ? nos définitions claires, nos problèmes précis, nos questions non ambiguës sont-elles aussi univoques qu'on le croit ? leur signification ne dépend-elle pas de qui parle, à quel moment, dans quel contexte, et de celui à qui il s'adresse, i.e. du contrat qui lie les interlocuteurs ?

Etude d'un exemple très significatif de la force et de la portée du contrat : le cas des problèmes absurdes du type "âge du capitaine"

Le problème "absurde" suivant :

"Sur un bateau il y a 26 moutons et 10 chèvres. Quel est l'âge du capitaine?"

problème auquel les enfants refusent habituellement de répondre hors école, ou répondent avec un clin d'œil, n'a provoqué aucune réaction d'humour ou de révolte dans les années 80 quand, sur proposition d'un groupe d'animateurs de l'IREM de Grenoble, il a été posé dans une école par un professeur !!

Les élèves se sont mis au travail, et sur 97 élèves de CE1 et CE2, 76 ont donné une réponse en utilisant les nombres figurant dans l'énoncé :

26 moutons \rightarrow 26 ans

ou $26 + 10 = 36$!!!

A la question "Que penses-tu de ce problème?",

Peter qui a répondu : "le capitaine a 26 ans",

ajoute (montrant ainsi qu'il est parfaitement sain sinon de corps tout du moins d'esprit)

"je trouve que c'est bien, mais je ne vois pas quel rapport entre des moutons et un capitaine!"

Anne qui a répondu : "on ne peut pas savoir l'âge du capitaine", nous rassure : "enfin une élève qui fait preuve de bon sens" pensons-nous ! Mais elle s'empresse de nous décevoir par son changement de comportement car, face au nouveau problème sémantiquement équivalent :

"Il y a 7 rangées de 4 tables dans la classe. Quel est l'âge de la maîtresse ?"

Anne répond maintenant

"La maîtresse a 28 ans, car $7 * 4 = 28$!"

Ce changement d'attitude nous déconcerte totalement ; on se met à désespérer et, si on n'y regarde pas davantage, on est prêt à suivre Stella Baruk dans ses indignations les plus

vigoureuses où le coupable est désigné sans appel : "l'école ne rendrait-elle pas nos enfants idiots ? le cours de math n'est-il pas une formidable machine à former des "automaths"?)

A la nouvelle question :

"Tu as 10 crayons dans chaque poche; quel âge as-tu ?",

- Paul répond : "20 ans !"

La question ayant été posée par oral, le maître lui dit en forme de reproche

"oh! Paul, tu sais bien que tu n'as pas 20 ans !"

Et Paul actualisant la maxime "à chacun son métier et les vaches seront bien gardées" rétorque sans se démonter :

- "c'est ta faute, tu ne m'as pas donné les bons nombres !"

Cette série de constats affligeants avait d'abord consterné les initiateurs de cette expérience, expérience reprise ou plutôt rapportée avec enthousiasme par Stella Baruk dans son livre "L'âge du capitaine", parce qu'elle semblait illustrer à merveille sa thèse qui consiste à dénoncer (parfois avec une grande perspicacité, mais souvent de façon abusive et totalement désespérante) l'état d'abêtissement dans lequel l'école et le cours de math mettent les élèves qu'elle doit après coup "réparer".

Cette expérience ré-analysée ensuite par Yves Chevallard avec le filtre du contrat didactique (dans le texte en littérature grise "Remarques sur la notion de contrat didactique" publication de l'IREM d'Aix-Marseille et c'est bien dommage, car c'est à mon sens un de ses plus beaux textes) nous permet d'interpréter très différemment cette suite de faits pour le moins troublants.

Sous l'éclairage d'un contrat didactique essentiellement monstratif, la première leçon qu'on peut tirer de cette expérience est la suivante : non!... ces élèves ne sont pas bêtes ou abêtis, étourdis, illogiques, ils ne font pas n'importe quoi et ne font pas forcément non plus la preuve d'un manque de réalisme affligeant, etc... non ..., leur comportement semble au contraire suivre une logique implacable, une logique très fine et indispensable pour pouvoir vivre en société : "la logique de celui qui pour participer activement à la vie d'un groupe social doit en accepter les codes et conventions".

Ici le contrat didactique, nulle part écrit, indique à l'élève que les professeurs ne posent jamais de problèmes "vraiment absurdes" et ne fournissent jamais de données inutiles ; si donc aujourd'hui le maître pose la question "quel est l'âge ... ", c'est qu'on peut le calculer en utilisant les données et un peu de bon sens!

A partir de cette lecture du contrat, chacun va agir au mieux pour occuper une place digne dans la classe et apprendre ; on va donc oublier "qu'on ne peut marier des moutons et des chèvres pour trouver l'âge d'un capitaine" et ne se souvenir que d'une chose : il faut trouver un âge plausible tenant compte des données. Proposons donc 26 ou $26 + 10$ (personne ne propose 26×10 ici, alors que 4×7 et non $4 + 7$ est proposé pour l'âge de la maîtresse).

Dès le départ, avec la question inhabituelle à l'école "que penses-tu de ce problème?", Peter montre clairement comment il vit paisiblement sa schizophrénie en dissociant bien les choses :

- d'un côté, il y a la manipulation des nombres que lui demande le professeur et il trouve le problème bien, puisque la manipulation paraît simple,

- de l'autre il y a la réalité du problème pour laquelle il reconnaît spontanément qu'il n'y a pas de rapport.

Le paradoxe au niveau de la logique de Peter qui répond "le capitaine a 26 ans" en sachant pertinemment qu'il n'y a pas de rapport est un faux paradoxe puisqu'en fait, pour Peter, il n'y a pas un, mais deux problèmes qui se traitent dans deux logiques différentes.

Le problème traité dans la vie réelle "il n'y a pas de rapport", le problème traité dans la logique du contrat "il y a nécessairement un rapport", d'où les deux avis non contradictoires puisque non situés sur le même plan, avec prééminence ici de la logique du contrat puisqu'on est en classe et qu'il s'agit de répondre à la question "quel est ...?".

La réaction de Paul à la fin vient magistralement confirmer cette thèse.

De même, la double attitude d'Anne, incohérente à première vue, peut à nouveau s'interpréter dans une logique implacable en terme de contrat didactique. (Tout comme pour Paul ou Peter, on ne sait pas en réalité ce qui s'est passé dans la tête d'Anne et le lui demander ne garantirait pas qu'on le saurait davantage, la fonction d'un modèle n'est pas de dire le vrai mais de donner un fil conducteur, une logique pour interpréter, voire anticiper.)

Dans le premier problème, seule une addition est possible (or l'addition est un vieux savoir), ce n'est donc pas un enjeu de savoir (Anne sait additionner et la maîtresse le sait). Anne donne donc une priorité au réalisme de l'histoire et déclare "on ne peut pas savoir".

Dans le second problème c'est différent, car une multiplication peut être envisagée et la multiplication est un savoir plus actuel ; il y a maintenant un réel enjeu didactique à montrer qu'on sait faire. Anne restant dans la logique du contrat didactique change donc de logique vis-à-vis de la résolution du problème : elle donne maintenant la priorité à la nécessité de montrer qu'elle sait faire la multiplication cachée derrière cette bête histoire de tables et de maîtresse, histoire dont le côté réaliste absurde s'estompe donc pour Anne derrière le fait qu'elle a là une bonne occasion de montrer qu'elle sait faire ce qu'on attend d'elle en classe.

Ce que le concept de contrat didactique nous montre d'essentiel ici, ce sont deux choses : la première assez évidente et l'autre beaucoup plus complexe, car débouchant sur deux attitudes "opposées".

* Ce qui paraît maintenant évident, comme nous l'avons déjà dit, c'est que le sens d'un problème et par suite d'un savoir pour un élève n'est pas intrinsèque au problème, à la définition, à l'explication, mais est à regarder dans le couple question posée, définition proposée et interprétation possible de tout cela au travers des contrats didactiques envisageables par l'élève.

** Ce que souligne l'aventure de l'âge du capitaine, c'est jusqu'à quel point d'aveuglement le contrat didactique permet à l'élève, à la classe, de suivre son professeur sans se révolter comme il le ferait assez naturellement en cas de conflit s'il participait à un échange plus symétrique avec des pairs. En s'assujettissant à son maître l'élève parvient, on le voit ici, à donner du sens à tout ce que ce dernier lui propose, même quand dans une logique de sens commun il devrait s'insurger contre l'absurdité de la situation !

Et là, dans un souci d'humanisme et de démocratie, deux faits doivent être pris en considération :

a) Si ce phénomène d'aveuglement devant les contradictions et l'absurdité se généralise (et pour certains élèves il semble que ce soit souvent le cas, rappelons-nous que sous influence du contrat didactique la majorité des étudiants de DEUG succombent à l'injonction de

donner l'aire du parallélogramme de côté 3 m et 4 m quand on le leur demande), ce type d'assujettissement de l'élève à son maître ne risque-t-il pas d'engendrer à la longue un dérapage collectif extrêmement dangereux sur un plan éthique. En effet ce dérapage, quand il a lieu, n'est-il pas semblable à celui des membres d'une secte qui apprennent, par la répétition du geste de délégation de responsabilité, à s'aliéner progressivement à un gourou et finissent ainsi par perdre toute faculté de jugement, tout libre-arbitre !!!! (certains proposent, pour cette raison, de réduire le plus possible, voire de supprimer l'enseignement scientifique de masse et en particulier mathématique).

Ce que montre de façon caricaturale cet exemple, c'est donc le danger qu'il y a, dans un enseignement de masse, à prendre le mode monstratif comme unique mode d'enseignement, car si nous rapprochons la réponse de Paul "c'est ta faute, tu m'as pas donné les bons nombres", réponse dans laquelle il dit clairement comment il voit la répartition des rôles à l'école :

- moi je suis le "manar" des chiffres, tu me donnes dix et dix, je te renvoie : ça fait vingt ! et je fais ainsi mon boulot d'élève!

- tu me dis, toi, que ça n'a pas de sens, que ce n'est pas pertinent, mais ... le sens, la pertinence, ce n'est pas mon affaire d'élève, le sens et la pertinence, c'est ton travail à toi de professeur !!!"

Si donc nous rapprochons ces réponses du drame du sang contaminé fabriqué et distribué par des scientifiques qui savaient eux aussi d'une certaine façon que c'était absurde, que c'était de la mort qu'ils fabriquaient et contribuaient à distribuer en guise de soins, on se sent une responsabilité en tant que maîtres potentiels de ces ex-élèves.

Bien sûr ces scientifiques qui travaillaient dans un laboratoire étaient sous l'influence d'un contrat social qui leur dictait de se taire et leur assurait que ce n'était ni leur devoir, ni leur intérêt de dénoncer les insuffisances du service, qu'ils avaient des chefs et que ce n'était donc pas leur rôle de se rebeller contre un meurtre collectif, et pourtant ... !!!

Si donc on pense qu'instruire, c'est aussi éduquer, la réponse de Paul crie à nos oreilles la nécessité de proposer souvent et à tout niveau et malgré un environnement souvent hostile (contraintes de programme et d'examens en particulier) des contrats diamétralement opposés.

Nécessité donc de proposer des contrats constructivistes dans lesquels l'élève saura au contraire qu'il est de son devoir d'élève de ne plus chercher une solution à partir de l'interprétation qu'il se fait du désir didactique du professeur, saura aussi que tout en acceptant de travailler sur le problème que son maître lui soumet intentionnellement pour qu'il réfléchisse sur un savoir précis et en découvre mieux le sens, il doit, lui élève, (pour apprendre et comprendre) oublier que ce maître a des intentions didactiques, pour ne plus voir que le problème scientifique qu'il doit affronter.

Il doit ainsi faire l'expérience de l'intérêt qu'il y a à dire ce qui lui paraît contradictoire ou absurde, même si d'une certaine façon il a tort.

Il me semble, par exemple, qu'il se produit un événement crucial sur le plan éthique comme sur le plan épistémologique quand un élève, un étudiant et pas forcément un très bon, doute face à la classe entière ou face à l'amphi, et que grâce à ce doute qui a osé s'exprimer, le groupe se remet au travail, bascule peu à peu et découvre son erreur.

Il y a là, je pense, une sorte de preuve pragmatique de l'intérêt individuel et collectif qu'il y a à ce que la loi du groupe autorise chacun à se désolidariser de la pensée dominante quand elle lui paraît trop fautive, trop injuste, et dise pourquoi ! Il y a là une invitation individuelle et

collective à oser être rebelle quand c'est nécessaire. (Et Dieu sait si c'est important pour que pouvoir collectif ne rime pas avec irresponsabilité individuelle.)

Enfin, au delà de ces problèmes éthiques, on peut craindre sur un plan épistémologique que si les savoirs sont régulièrement acquis sans confrontation avec ce qu'on sait par ailleurs, l'homme ainsi instruit soit plus dangereux qu'utilement éclairé par son savoir, car comment pourrait-il intérioriser les savoirs proposés par ses maîtres si la "sur-confiance" qu'il leur prodigue lui interdit, même en cas d'absurdité patente, de remettre en cause ce qu'il a appris? Il risque par un accès trop scolaire au savoir de devenir un doctrinaire aveugle et dangereux !

b) Mais la prise de conscience des effets pervers possibles et bien réels des contrats didactiques classiques (perte de sens, perte de responsabilisation scientifique, et à la limite perte de tout jugement personnel) ne doit pas par souci d'humanisme et de démocratie nous faire ignorer tout le versant positif du côté aliénant du contrat didactique, en particulier du contrat monstratif, car on peut alors au nom d'idéaux égalitaristes choisir (par exemple en décidant de supprimer le cours magistral) de jeter le bébé avec l'eau du bain, i.e. de priver l'élève d'éléments fondateurs de la démocratie : pouvoir insérer son jugement propre dans un dispositif de pensée longuement construit et largement partagé.

En effet, les savoirs qui nous donnent force, pertinence et autorité pour agir, discuter, échanger, sont certainement ceux sur lesquels nous avons construit du sens, ceux que nous avons intériorisés par un processus de type constructiviste, mais pour que cette construction personnelle puisse se produire, il faut qu'elle puisse s'adosser à une construction externe qui ne peut surgir spontanément d'un débat scientifique autour de l'étude d'un problème.

Les savoirs forts sont donc ceux qui s'insèrent dans une construction théorique plus globale (fonction de colonne vertébrale du cours magistral, fonction de l'institutionnalisation qui rattache et positionne de façon monstrative les savoirs privés exprimés par les élèves au savoir actuel de la communauté savante).

Par exemple, si ce que j'écris dans cet article vous éclaire sur des points que vous connaissez bien, c'est parce qu'il est construit et réordonne d'une certaine façon ce que vous connaissez autrement, et que, même si vous avez des objections, vous ne pouvez casser sa logique interne en m'interpellant à tous les paragraphes pour m'obliger à présenter d'autres arguments ou à les présenter autrement. Mais de plus, si ce que j'expose ici a quelque valeur, c'est autant parce que j'explique et argumente à partir de nos recherches et expérimentations personnelles que parce que cela s'appuie sur tout le travail de communautés beaucoup plus larges, travail que je n'expose pas ici et qui, même si nous en ignorons la majeure partie, influence néanmoins mon propos et lui donne de la cohérence.

En résumé

Ce que montre cet ensemble de réflexions et de faits, c'est tout le rôle que l'on peut donner à ce concept de contrat didactique, d'une part pour mieux comprendre ce que l'on enseigne véritablement, ce que l'élève peut apprendre, et d'autre part pour mieux assumer notre fonction de professeur et faire accepter à l'élève sa position d'élève.

En effet, dès qu'un contrat didactique lie professeur et élèves face à un savoir, de par ce contrat :

- le professeur "mène le jeu", il "doit" être "le maître" (et il doit accepter d'exercer cette position, sinon le cours perd son sens)!

- pour apprendre l'élève doit "entrer dans le jeu du professeur", il doit s'assujettir à sa pensée, il "doit" être "sujet" (de ce maître), sinon il ne peut apprendre.

C'est à mon sens une erreur profonde de vouloir, pour des raisons de démocratie, d'égalitarisme, de psychosociologie, d'affectivité déplacée, ou tout simplement de modernité, de vouloir donc symétriser cet échange qui ne peut et ne doit se faire sur le mode de l'égalité des points de vue (puisque'il ne s'agit pas d'échange de points de vue mais de transmission de savoirs).

De par ce contrat, il n'est pas dans le droit de l'élève de discuter la validité du savoir du professeur et le mode de transmission choisi, ni de refuser d'entrer dans les jeux successifs que le professeur organise ; il est par contre dans son droit d'apprendre des choses exactes, de comprendre, de pouvoir intérioriser et il entre alors dans les devoirs du professeur d'avoir une consistance épistémologique et d'exploiter la force extraordinaire du contrat didactique (s'il ne l'a pas lui-même miné, en voulant adopter une position trop symétrique par rapport à ses élèves) pour proposer des changements de contrat, pour organiser des ruptures entre monstratif et constructivisme.

Il faut toute la force du contrat du cours magistral ou de la conférence pour obtenir de ses interlocuteurs un silence intérieur et extérieur, une qualité d'écoute qui seule permet de faire entendre jusqu'à son terme un propos construit et organisateur (ce que ne permet jamais l'échange égalitaire), il faut toute la force du contrat du débat scientifique pour que l'élève sorte de sa position trop irresponsable d'auditeur et de non spécialiste pour devenir auteur, critique, et accepte d'assumer une responsabilité scientifique sur des domaines où il est en grande partie ignorant.

Dans les deux cas, ce qui justifie l'autorité du maître et la docilité de l'élève (y compris pour accepter d'être rebelle sur un plan épistémologique tout en acceptant de garder une position d'élève), c'est la clause fondamentale du contrat didactique (qui fonde le métier de professeur) : dans la relation didactique les acteurs font tout pour que le professeur puisse transmettre le savoir que l'élève doit pouvoir apprendre et intérioriser.

Ce que l'expérience montre constamment, c'est que lorsqu'on a compris la fonction du contrat didactique et qu'on prend le temps de la faire partager à ses interlocuteurs (savoir externe, interne, rôle du monstratif et du constructivisme), il a une force colossale (je ne parle pas bien entendu des classes où le contrat social est trop profondément altéré pour qu'il soit possible de négocier les bases les plus élémentaires du contrat didactique), il permet le double jeu, et si les situations proposées sont épistémologiquement consistantes et didactiquement cernées, la majorité des élèves entrent dans ce double jeu et le pratiquent avec beaucoup plus de professionnalisme que ce que l'on peut le penser initialement, ils apprennent ainsi beaucoup, et semble-t-il ... dans un vrai bonheur !

III. Que devient le constructivisme dans la majorité de nos classes et de nos amphis ?

Cette année nous avons travaillé avec des étudiants de licence de mathématiques dans un module de sensibilisation au métier de l'enseignement, et nous leur avons proposé le contrat suivant :

Donnons-nous quelques éléments de didactique (essentiellement ceux que je viens de préciser et quelques autres points présentés ci-après) et mettons à l'épreuve ces outils théoriques dans deux contextes différents :

- celui de la licence de mathématiques : vous essayez alors d'analyser vos propres enseignements, les méthodes de vos professeurs, vos méthodes de travail, vos propres difficultés et réussites pour apprendre, comprendre, intérioriser ;
- celui des écoles, collèges et lycées où vous irez faire des observations (six demi-journées).

L'observation didactique

1- Quelques compléments (ce paragraphe est le condensé des compléments qui ont servi de support à l'observation didactique à laquelle nous avons invité ces étudiants.)

Pour qu'un regard extérieur sur la classe ne soit pas du voyeurisme et pour se donner le moyen de faire un pas de côté quand on observe sa propre situation d'apprentissage, on doit s'abstenir le plus possible d'analyser les enseignements qu'on observe sous la forme "c'est bon!", "c'est mauvais!" (jugements de valeurs) et s'imposer par contre des cadres qui permettent de saisir l'adéquation entre buts et moyens.

Pour cela, on peut :

* rattacher ce que l'on analyse à l'une des cinq composantes suivantes (composantes qui, dans l'action, sont bien entendu totalement imbriquées) :

Cinq composantes d'une situation d'enseignement

- l'épistémologie (l'atelier Circuit a servi de base pour donner sens à ce concept, cf compte rendu d'atelier),
- le cognitif : présentation des modes monstatif et constructiviste et explicitation de leurs logiques internes (voir ci-après),
- le psycho-affectif (voir ci-après),
- le socio-culturel (pour l'essentiel, les considérations développées dans la première partie),
- l'éthique (idem).

* adopter tour à tour, quand on observe, l'un des quatre points de vue suivants :

Quatre angles d'observation

- 1) Général (on note le cadre, le contexte, le contenu, les événements marquants).
- 2) Identification de la problématique du professeur (voir ci-après).
- 3) Modèles cognitifs, effets de contrat (voir ci-après).
- 4) Cadre psycho-affectif, socio-culturel et éthique (voir ci-après).

Identification de la problématique du professeur

Le professeur semble-t-il

- avoir choisi d'enseigner un ou plusieurs savoirs ? (concepts, méthodes, techniques, etc.)
- vouloir privilégier un aspect du savoir aux dépens des autres ou au contraire vouloir équilibrer ?

- avoir repéré un obstacle : une simple difficulté, une possibilité de blocage, de contresens ?

Comment réorganise-t-il le savoir en conséquence ?

Envoie-t-il des messages explicites/implicites pour faire partager sa problématique ?

Y a-t-il (in)cohérence entre explicite et implicite : réactions des élèves ?

Modèles cognitifs

Deux modèles, le modèle (dé)monstratif et le modèle constructiviste, assument en cohérence le paradoxe :

"pour comprendre, il faudrait savoir et pour savoir..., il faudrait avoir compris".

Ces modèles sont complémentaires car aucun n'est auto-suffisant pour tous les apprentissages, mais... leurs logiques propres sont si contradictoires qu'il est impossible de les alterner sans renégocier explicitement le contrat.

Ils ne peuvent donc engendrer de modèles médians sans fortes contradictions.

Logiques internes de ces modèles : prééminence des certitudes ou du doute.

En mode démonstratif, pour arriver à "tout" montrer, démontrer, il faut absolument :

- éliminer les attermoissements et le doute pour privilégier les bonnes solutions,
 - bien structurer, garder le fil de sa pensée,
 - neutraliser les pensées divergentes,
 - ne pas faire appel aux conceptions des élèves,
- découper et aplanir les difficultés
 - décontextualiser, "naturaliser" le savoir.

En mode constructiviste, pour que le savoir apparaisse comme réponse aux questions et problèmes, il faut absolument créer du doute et accepter :

- l'implication personnelle de l'élève
 - en cours l'élève propose, soutient, n'est pas d'accord,
- la retenue de l'opinion magistrale
 - le prof s'interdit pendant un temps de donner son avis,
- les propositions maladroites ou erronées
 - erreurs, maladresses ≠ stupidités, temps perdu,
- la complexité et la fragilité du "direct".

Deux éléments complémentaires et indissociables de ces modèles :

Dans la phase problématique où les élèves cherchent, discutent, conjecturent, critiquent les solutions qui leur sont proposées, l'élève n'invente pas le savoir, ne le construit pas (mystification), l'élève construit du sens à propos du savoir que le professeur va institutionnaliser.

Dans la phase d'institutionnalisation, le professeur doit introduire une part importante du savoir, "il doit faire cours", mais en lien étroit avec les éléments de réflexion apportés par les élèves pendant la phase problématique.

Aucune des deux phases isolée ne se suffit, c'est leur complémentarité qui donne force et consistance à ce dispositif d'enseignement.

L'analyse didactique des effets de contrat

Pour analyser et comprendre ce que font véritablement les élèves et leur professeur en classe, voyons le didactique comme un jeu dans lequel professeur et élèves "gagnent ou perdent" ensemble!

Convenons alors que ce qui caractérise un jeu, c'est la nature des coups permis !

Ce qui caractérise le joueur, c'est son comportement face à des choix réels !

La place du doute dans la classe : pour savoir si l'élève apprend, comprend véritablement, il faut que le professeur ait créé du doute, des occasions de choix, d'erreurs !

La discipline (matière) définit les coups théoriquement permis !

Le contrat didactique fixe la nature des coups réellement autorisés !

Principe de base de l'analyse didactique

Quand un joueur ne peut envisager qu'un seul coup (jeu de la bataille) ... il le joue sûrement, mais personne ne peut attribuer la moindre signification à sa décision puisqu'il n'a rien décidé!

L'effet Topaze

Les moutons étaient entrés dans

Les moutons.....étaient entrés..

Les moutons-ses.....étaient.

Les moutons-se s s S.....

Mettez un S à mouton !

L'usage incontrôlé de l'effet Topaze

Comme tous les moyens détournés pour provoquer une action ou une réponse "qui ne vient pas de soi", cet effet n'est pas à proscrire s'il est conscient, à visée psychosociale (sauver une situation dramatique, redonner du courage, ne pas perdre du temps sur un point jugé mineur pour garder les énergies de la classe pour autre chose, etc.).

Mais il doit être pratiqué avec économie dans un clin d'œil complice à l'élève, à la classe, à l'amphi, car son abus fait croire à l'élève et au prof. que l'on sait ce qu'on ignore, que l'on a compris ce qui est obscur, que l'on peut passer à la suite puisqu'on "sait faire".

C'est une façon de tricher avec le savoir en transformant un jeu d'échecs en jeu de la bataille : en théorie on fait des maths (jeu d'échecs), mais par une succession d'effets Topaze (intonations, forme des questions, remarques judicieusement placées, etc.) on glisse les réponses dans les questions et on fait de l'activisme pédagogique. (Au niveau épistémologique, on est revenu au jeu de la bataille.)

Le rôle du psycho-affectif

Le contrat doit gérer l'acceptation par l'élève des changements de jeu du maître.

L'Amour paradoxal maître-élève

- Si ce maître "m'aime" : il doit me faire "réussir" et ... "échouer" aussi! (me faire buter sur des obstacles pour que j'intériorise)
- Comme je " l'aime bien", je voudrais le garder mais... il faudrait aussi que j'aspire à le quitter (le savoir, pour être intériorisé, ne doit pas rester attaché à un maître).

Au delà donc d'apparences autoritaires/cordiales, le contrat repose sur deux types d'amour très différents au niveau de la nature des savoirs qu'ils rendent possibles :

* un amour-estime au premier degré

- l'élève : "Avec ce prof. c'est facile, on réussit bien, on comprend tout, on sait tout de suite ce qu'il attend... !"
- le prof : "Ils ne peuvent pas tout comprendre ; je ne peux pas les laisser trop se tromper, je suis donc bien obligé de les guider, de leur donner ...la solution !"

* un amour-estime au deuxième degré

- l'élève : "Ce prof. est exigeant, il fait chercher, il laisse se tromper, il fait travailler sur les erreurs."
- le prof : "J'ose les placer devant des situations ouvertes, j'ose leur laisser du temps pour avoir des idées et les exprimer maladroitement, car je parie qu'ils peuvent aller bien plus loin que ce qu'ils montrent lorsqu'on les guide trop pour "gagner du temps ", je suis persuadé qu'au fond ils aspirent à être pris au sérieux même s'ils font pression pour être maternés...!"

Le concept insupportable dans un amour au premier degré : l'obstacle épistémologique

Un obstacle épistémologique

C'est un savoir

- trop "énorme" pour être simplement (dé)montré ou expliqué sans déformation de sens!
- trop "révolutionnaire" pour être directement accepté;
- qui nécessite un tel changement de point de vue que l'élève qui ne l'aborde pas comme solution d'un problème crucial, "ne peut accepter de renoncer à ce qui, en lui, s'oppose à sa compréhension" !

D'où le principe du conflit (socio)cognitif qui a pour but de faire découvrir concrètement à l'élève qu'il est en présence de deux savoirs qui se contredisent. Il va donc lui falloir (par nécessité rationnelle et non par docilité) renoncer au plus ancien, au mieux enraciné, afin de laisser le nouveau (plus exact, plus général) transformer sa façon de regarder le monde, de traiter les problèmes!

2. Première exploitation avec les étudiants de cette approche théorique des phénomènes d'enseignement : l'observation didactique d'une vidéo.

Nous avons réparti les étudiants en deux grands sous-groupes, chacun ayant à travailler sur une vidéo de classe différente. Chacun de ces deux sous-groupes s'est alors redivisé en quatre groupes d'observation spécifique pour analyser la vidéo sous l'un des quatre angles d'observation que nous avons définis précédemment.

Après avoir visionné vingt minutes de cours, chacun des huit sous-groupes a effectué pendant une heure une première analyse de son observation. Nous nous sommes alors retrouvés tous ensemble afin que ceux qui avaient observé d'une certaine façon exposent aux autres ce que leur angle d'observation leur avait permis de concevoir sur le travail de cette classe et nous soumettent les questions que cela les amenait à se poser.

Cette séquence de quatre heures nous a montré que des étudiants de licence, munis des bases théoriques que je viens de résumer, étaient capables de faire des analyses assez fines et percutantes du jeu scolaire : jeu du professeur, jeu de l'élève, jeu des élèves.

D'une certaine façon, on peut dire que, ne se sentant pas directement impliqués en tant que professeurs et "sortant d'en prendre" en tant qu'élèves, des étudiants acceptent beaucoup plus facilement que des professeurs chevronnés de jeter un regard froid sur la réalité mathématique du jeu didactique qui se déroule dans une classe.

A l'issue de ces analyses de vidéo, nous avons épinglé quelques-unes des pathologies majeures d'un constructivisme mal compris :

Une analyse trop sommaire du constructivisme entraîne une confusion entre

Action ↔ Action réflexive

Prise de parole ↔ Engagement intellectuel

Manifestation de l'erreur ↔ Echec.

Raisons possibles de ces dérapages : vide épistémologique, affectif mal maîtrisé, usage incontrôlé de l'effet Topaze, refus des obstacles épistémologiques, phantasme de toute-puissance du prof. et refus du principe de réalité.

3. Deuxième exploitation de cette approche des phénomènes d'enseignement : l'observation didactique dans des classes de la maternelle à l'université.

Suite donc à ce travail, ces cinquante étudiants sont allés observer dans différentes classes ; voici le bilan de leur rapports d'observation :

- à première vue, ... la plupart des cours se présentent comme ... constructivistes!

Hors de l'université, très rares sont les professeurs qui font du monstatif pur, la plupart proposent des activités, posent des questions et des problèmes, les élèves parlent, ... travaillent en groupes.

- par une analyse plus fine, on voit que :

Les élèves, sans cesse sollicités par les questions du professeur, réagissent moins en fonction du problème qu'il leur pose qu'en fonction de ce qu'ils espèrent être la réponse attendue : ils proposent et... le professeur trie !!!

Les professeurs ne font jamais véritablement cours, car par un jeu subtil de questions qui suppriment doute et problème, ils font dire aux élèves ce qu'ils ne leur laissent pas le temps de découvrir.

Les élèves n'engagent pas leur responsabilité, n'entrent pas dans de vrais débats, car tout passe et repasse par le professeur.

Souvent les questions spontanées et les débats des élèves en petits groupes abordent des incompréhensions et problèmes de fond ; et si... le professeur laissait mûrir la situation, certains blocages trouveraient peut-être un début de solution... mais il faut que le cours avance!

Alors le professeur

- n'entend pas la question, ou la repousse comme hors sujet,
- résout lui-même le problème ou fait appel au bon élève ou à "Topaze".

Domage ... !

La classe est active et "réussit" presque toujours dans les temps à aller là où le professeur voulait en venir. Malgré ces manipulations répétées il règne en classe une ambiance de travail chaleureuse et confiante car une grande complicité unit l'élève à son professeur dans un amour-estime au premier degré.

Nous avons nommé ce mode très souvent observé le "pseudo-constructivisme", mode incohérent sur les plans philosophique et didactique, mais qui semble socialement bien accepté. C'est plus "une mode" qu'un modèle didactique, car sans véritable visée philosophique ni fondement cognitif, c'est ce que Rudolf Bkouche appelle l'illusion langagière ou "activisme pédagogique".

Des étudiants ont questionné des professeurs du primaire, secondaire ou du supérieur sur leurs problématiques, il leur a souvent été répondu qu'ils n'en avaient pas ... et... pas besoin ! Ils ont un programme à traiter!

Quand certains ont fait remarquer qu'en laissant plus de doute, de responsabilité aux élèves, cela pourrait... il leur a été répondu qu'on n'avait pas le temps !

Souvent ces étudiants ont conclu, eux aussi, que c'était...dommage, mais qu'on ne pouvait faire autrement!

Alors, l'ambition de pouvoir alterner à bon escient entre les modes monstatif et constructiviste sans repli frileux sur un mode intermédiaire pseudo-constructiviste, utopie folle ou réaliste ?

Cela dépend ... ; en effet, tous les étudiants qui ont observé des séquences constructivistes sans complaisance (et il y en a eu un certain nombre) constatent que c'est possible !!

C'est lent et aventureux, mais... ça marche bien mieux qu'ils ne le pensaient :

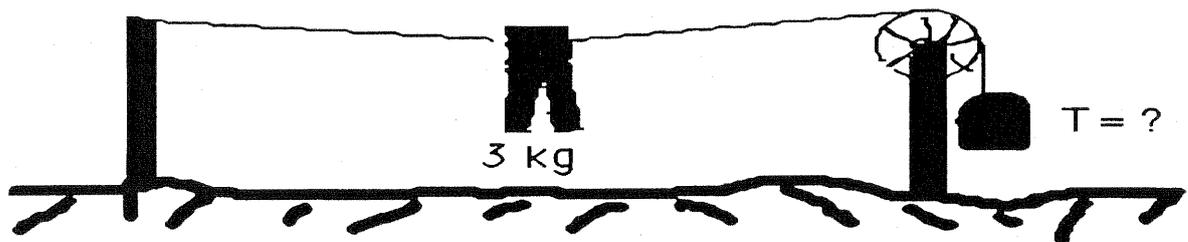
- beaucoup d'élèves, et pas seulement les bons jouent le jeu, comprennent !
- contrairement à l'autre pratique où le temps gagné se paye souvent en contresens et non sens, le temps perdu ici se retrouve là, notamment quand le professeur, au moment de l'institutionnalisation, arrive à inscrire les démarches erratiques des élèves dans la logique de son exposé magistral : quand, par exemple, il arrive à montrer aux élèves en quoi leurs fausses pistes donnent du sens aux définitions qu'ils avait initialement négligées, comment la suite de conjectures rectifiées montre l'importance des hypothèses restrictives du théorème final, comment la suite des tentatives avortées de preuves donne une raison à la complexité de la preuve finale. Preuve qui apparaît aux observateurs comme beaucoup plus signifiante et éclairante quand le professeur décide de l'effectuer lui-même à ce moment-là au lieu de chercher à tout prix à la faire dire aux élèves en ayant un recours éhonté à l'effet Topaze. (Eclairante et signifiante pour les élèves dans la mesure où elle permet au professeur de montrer comment on peut réagencer avec logique et rigueur les bribes de raisonnements qui ont effectivement été produits dans le débat, mais de façon souvent très disparate et dans un grand désordre).

Alors..., pour juger de ce qui est possible ou impossible dans une classe, à un moment donné, c'est ... à chacun... de prendre ses responsabilités !

IV) Retour sur un exemple caractéristique

Problème pratique

Ce blue-jean mouillé suspendu sur ce fil à linge pèse environ 3 kg.



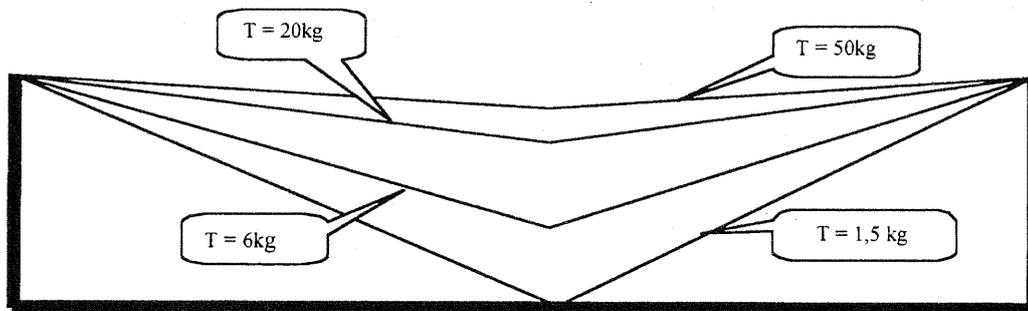
Question cruciale (par ex. pour choisir un fil à linge adapté)

A votre avis, la tension T du fil (c'est-à-dire l'équivalent en kg du contre-poids qu'il faudrait suspendre à son extrémité pour soutenir ce blue-jean dans cette position) est-elle plutôt de : (cochez la valeur qui vous semble la mieux adaptée - ni trop, ni trop peu -)

1,5 kg	3 kg	6 kg	20 kg	50 kg	100 kg	?
3	27	15	0	0	1	20
7	35	40	6	1	0	12

Les réponses de la première ligne sont celles des étudiants de licence et celles de la deuxième ligne les réponses de moniteurs d'un CIES (étudiants-professeurs de sciences effectuant une thèse en mathématiques, physique, chimie ou informatique et ayant un quart de service d'enseignement à l'université).

Si on réalise l'expérience précédente dans des conditions "normales" (poteaux de 2m de hauteur et distants de 4m), on obtient approximativement les positions suivantes :



En clair, pour que le jean occupe la position figurée dans le dessin initial, il faut que la tension s'approche de 50 kg et non 1,5 kg, 3 kg ou 6 kg, tensions avec lesquelles le pantalon traîne par terre.

Nous avons amené un dispositif expérimental : poteaux, fil à linge, poids marqués, etc. permettant de faire les expériences ensemble en prenant successivement $T = 1, 5, 3, 6, 20, \dots$ et il y a un léger émoi quand chacun est obligé de constater que les choses ne vont vraiment pas dans le sens généralement prévu.

La question qui nous intéresse maintenant est la suivante :

Pourquoi proposer une telle situation au lycée ou en licence, pourquoi engager un débat sur une situation de type "jean" dans une formation à l'enseignement (CIES, IREM, IUFM)?

Proposition d'institutionnalisation (au niveau d'une formation d'adultes)

Dans l'introduction de nouveaux savoirs, nous devons effectuer un choix entre rupture et continuité, i.e. entre affrontement ou évitement des "obstacles épistémologiques".

Premier choix : celui de la simplicité et de la continuité avec le connu :

"Aujourd'hui ce dont nous allons parler, c'est presque comme d'habitude..."

Deuxième choix : celui de la rupture avec ce qu'on connaît déjà, et l'affirmation d'une certaine complexité :

"Aujourd'hui ce dont nous allons parler, c'est plus compliqué mais... il y a des raisons."

Ici, le savoir visé est "le vectoriel". Pour l'introduire, deux possibilités :

Premier choix, celui de la simplicité et de la continuité avec le connu (le nombre) :

Un vecteur \vec{V} est un triplet de "trois nombres" $\vec{V} = (v_1, v_2, v_3)$.

Deux vecteurs \vec{V} , \vec{W} s'additionnent simplement $\vec{V} + \vec{W} = (v_1 + w_1, v_2 + w_2, v_3 + w_3)$.

Si \vec{F} représente une force, sa longueur $\|\vec{F}\|$ est le nombre positif qui mesure l'intensité de cette force, elle se calcule par la formule :

$$\|\vec{F}\| = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2}$$

Ce vecteur-là s'enseigne et s'apprend "bien", mais ... est-il apte à nous aider à "bien penser" les situations complexes où les nombres échouent ?

Deuxième choix : celui de la rupture avec ce qu'on connaît déjà, et l'affirmation a priori de la nécessité de la complexité.

Le vecteur doit donc apparaître comme ce nouveau concept-outil qu'il nous faut inventer, construire pour modéliser les situations où l'outil nombre échoue.

"Le jean" au service de cette intention didactique

Pour "le jean", penser les "tensions" seulement comme des nombres positifs est très "pervers" puisque cela

- nous pousse à choisir 1,5 kg, 3kg ou 6 kg (trois valeurs qui ne sont vraiment pas adaptées à la réalité !)

Deux raisonnements auxquels les nombres "poussent" :

a) $T = 1,5$ car $1,5 + 1,5 = 3$

b) $T < 3$ kg car, si on pend le jean avec un seul fil et que la poulie est bien graissée, la tension est égale au poids du pantalon; si maintenant on remet le deuxième fil, il vient s'ajouter au premier, la tension T diminuera, donc $T < 3$ kg !!!

- détourne notre attention du paramètre crucial "angle" : pour contrer le poids du jean, **les deux tensions** (à droite et à gauche du jean) **ne s'ajoutent pas comme des nombres positifs mais comme des vecteurs**, c'est-à-dire que tout en "coopérant pour soulever le pantalon", ces tensions se neutralisent et ce d'autant plus que l'angle qu'elles forment est

voisin de 180° (contrairement à la somme de deux nombres qui est toujours supérieure en valeur absolue à chacun d'entre eux lorsqu'ils "coopèrent à l'obtention d'un même résultat").

L'expérience pratique est ici édifiante car, après avoir dépassé la déception de voir le jean traîner inexorablement au sol quand on applique une tension T comparable au poids P du pantalon, on découvre qu'on a beau augmenter cette tension autant que faire se peut (par ex. en montant à plusieurs sur le contrepoids) il reste toujours une flèche et l'on découvre expérimentalement le fait crucial : pour que **Angle $\rightarrow 180^\circ$, il faut que Tension $\rightarrow \infty$**

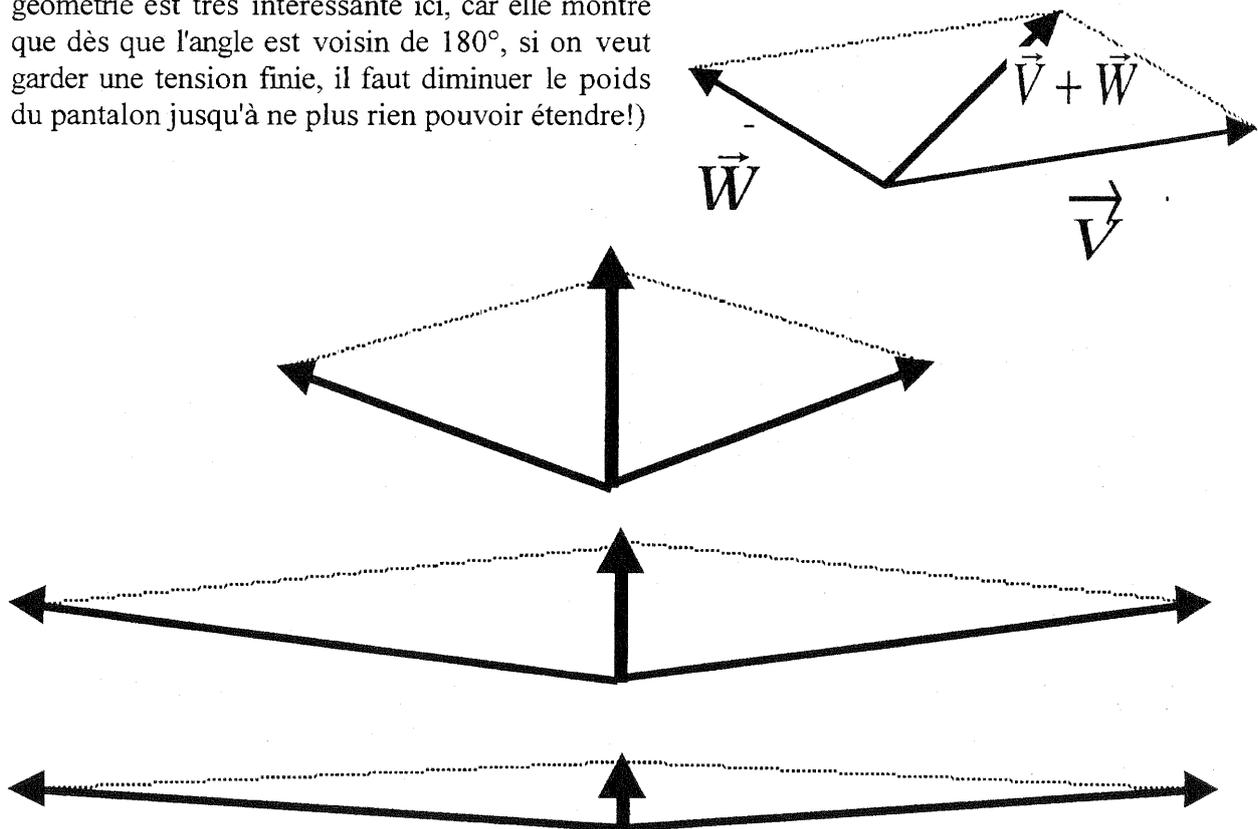
Le cours magistral peut alors commencer :

Au professeur de proposer une grandeur apte à représenter cette situation (le vecteur).

Cette grandeur complexe, l'élève ne peut l'inventer seul mais il peut maintenant en comprendre la nécessaire complexité : la situation du "jean" devrait le pousser à abandonner (momentanément) le confort des nombres positifs (qu'il connaît et qui s'ajoutent si facilement) pour ouvrir son esprit à ces grandeurs plus complexes, les vecteurs, qui tiennent compte de la direction lorsqu'on les ajoute.

Dans cette optique, on peut alors montrer que "la règle du parallélogramme" prend en compte (par sa complexité) tout ce que l'expérience du jean nous a montré.

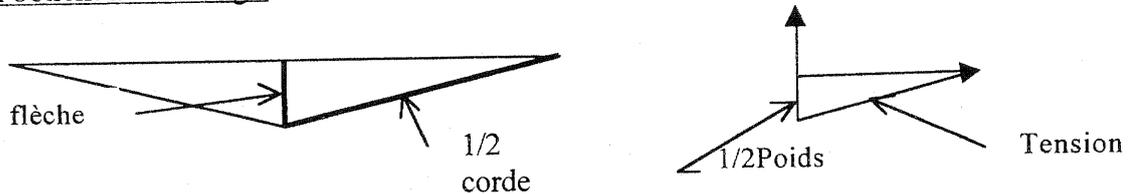
(Une illustration de ce problème en exploitant la règle du parallélogramme sur un logiciel de géométrie est très intéressante ici, car elle montre que dès que l'angle est voisin de 180° , si on veut garder une tension finie, il faut diminuer le poids du pantalon jusqu'à ne plus rien pouvoir étendre!)



Retour de la théorie sur la pratique

Cette mathématisation de la tension par un vecteur, pertinente au niveau qualitatif, l'est aussi au niveau quantitatif, car en utilisant Thalès on peut calculer :

On obtient alors la règle : La Tension est au 1/2 Poids ce que la 1/2 Corde est à la flèche.



Si 1/2 corde = 2m , flèche = 0,05m , le rapport 1/2 corde / flèche = 40 .

Dans ce modèle, la tension devrait donc être 40 fois le 1/2poids, soit 20 fois le poids, soit environ 60 kg ! ce que l'expérience tend à confirmer.

Bilan épistémologico-didactique de cette situation

1) Au niveau épistémologique

Il est clair que dans une telle présentation, le vecteur introduit ici n'est pas réputé "plus vrai" ou "plus probant" que le nombre (un modèle ne prouve jamais une réalité, mais est plus ou moins pertinent pour prévoir, expliquer et quantifier), il est par contre d'emblée montré pertinent et complexe.

C'est grâce à son addition compliquée que le vecteur est apte à rendre compte d'une situation de vie où le bon sens et l'ancien savoir nombre échouent.

Par suite...le pseudo paradoxe des normes qui, bien que nombres positifs, ne s'additionnent pas comme on l'attend

$$\|\vec{V} + \vec{W}\| \underset{\text{rarement}}{\leq} \|\vec{V}\| + \|\vec{W}\|$$

est ici une déconvenue nécessaire : de très grands vecteurs peuvent avoir une somme ridicule et par suite, si on n'est pas dans un repère orthonormé, les composantes d'un vecteur peuvent être 100, 1000... 10^{10} fois plus grandes que le vecteur lui-même, c'est le prix à payer pour avoir un bon outil de modélisation des situations non unidirectionnelles !

2) Au niveau didactique

Il est clair aussi que le mode utilisé ici est constructiviste :

- il se veut donc au service de la construction du sens, il n'a pas pour fonction de faire découvrir le savoir - ici le vecteur - mais d'en faire (re)découvrir la portée et la nécessaire complexité ;

- il réclame aussi que les élèves s'impliquent et "se trompent":

* le but n'est pas de faire dire des bêtises aux élèves, de les "humilier d'une certaine façon" afin d'asseoir le pouvoir du Maître ;

* c'est un moyen de faire découvrir que le "bon sens", sans être stupide, nous pousse souvent à proposer des solutions très inadaptées, et que l'explicitation et le décortiquage de nos raisonnements erronés (loin d'être du temps perdu) sont souvent indispensables pour comprendre (même pour ceux qui croient avoir compris et qui, dans un certain cadre, ne se trompent pas - effet de contrat - effet Topaze).

Le double problème psychologique que doit affronter ce mode constructiviste : le trop et le trop peu de confiance en soi

- celui qui se considère comme ignorant, qui est timide, qui doute beaucoup de lui, risque de ne pas vouloir s'impliquer dans un jeu qui pourrait mettre au grand jour ses faiblesses,

- inversement, celui qui croit tout connaître, qui s'est toujours vu bon élève, peut éprouver un certain agacement à se tromper, à voir des "moins forts" avoir des idées intéressantes, peut être vexé de s'être "laissé prendre" quand il découvre qu'un savoir qui le rendait infaillible ne fait pas le poids dans des situations moins "scolaires". Cette frustration peut le pousser à casser un jeu qui ne le met pas immédiatement à son avantage.

Dans les deux cas, on voit tout l'intérêt que l'individu aurait à dépasser l'obstacle psychologique qui l'invite à ne pas jouer, mais pour cela il faut qu'il accepte de changer en profondeur son rapport au savoir.

D'où l'importance de l'outil contrat didactique pour négocier cette situation en terme de Savoir externe → Savoir interne.

En effet, il me semble que ce n'est que dans cette perspective d'intériorisation des savoirs que chacun (maître ou élèves) peut accepter de perdre du temps avec une telle situation, accepter de froter le réel quotidien au réel mathématique, accepter de faire intervenir des maths en cours de physique (ou de la physique en cours de math) en ne considérant plus l'autre discipline comme inférieure, comme un simple outil au service de la discipline noble, mais comme un autre mode de pensée totalement complémentaire et "nécessaire" pour forcer l'intériorisation.

Bibliographie

- Qu'est-ce que la science ? A.F. Chalmers (Le livre de poche)
- La formation de l'esprit scientifique, G. Bachelard 1938 Paris Vrin.
- A quoi sert l'école? Rudolf Bkouche, décembre 2000, Repères IREM à paraître
- "L'enseignement scientifique entre l'illusion langagière et l'activisme pédagogique", Rudolf Bkouche, octobre 1992, Repères IREM n°9 (Topiques Editions)
- Enseigner autrement en DEUG A 1ère année, 1990 (Publications inter - I.R.E.M)
- Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques, 1993, S. Johsua et J.J. Dupin, (PUF)
- Débat scientifique en cours de mathématiques, M.Legrand, janvier 93, Repères IREM n°10 (Topiques Editions)
- La pulsation mathématique, rigueur et ambiguïté, la nature de l'activité mathématique, ce dont il s'agit d'instruire, René Guitart, l'Harmattan
- Mathématiques, mythe ou réalité : un point de vue éthique sur l'enseignement scientifique, M. Legrand, juillet 95, Repères IREM n°20&21 (Topiques Editions)
- La problématique des situations fondamentales M. Legrand, avril 97, Repères IREM n°27 (Topiques Editions)
- La crise de l'enseignement, un problème de qualité, M. Legrand (Aléas Editeur, 15 quai Lassagne, Lyon)
- La pureté dangereuse, B.H. Lévy (Grasset)
- La transposition didactique, Y. Chevallard (La Pensée sauvage)
- La théorie des situations, G. Brousseau (La Pensée sauvage)