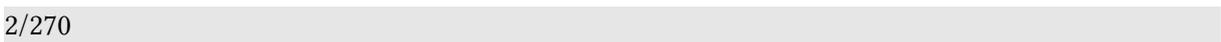


**Le principe du
« Débat Scientifique »
dans un enseignement**

Pré-tirage du Tome I :
Principe et origines d'un « cours
constructiviste »

Journées nationales de l'APMEP
Grenoble – Novembre 2011



Groupe de Recherche sur le « Débat Scientifique » :
Marc Legrand, Thomas Lecorre, Liouba Leroux, Anne Parreau

Le document présent est une version raccourcie aux parties I et II du premier tome s'insérant dans la progression suivante :

Tome I : Principe et origines d'un « cours constructiviste »

*Tome II : La théorie d'un « cours constructiviste »,
versus, d'un « enseignement monstratif »*

*Tome III : Quelques situations fondamentales d'un
« cours constructiviste »*

Les auteurs recevront avec intérêt et reconnaissance toutes remarques ou contributions :

marc.legrand@ujf-grenoble.fr, thomas.lecorre@wanadoo.fr

antoine.leroux@ac-grenoble.fr, anne.parreau@ujf-grenoble.fr

Illustrations : Serge Cecconi

Et si nous faisons un rêve ensemble...

Le rêve de voir arriver **une grande majorité de nos élèves** en classe ou de nos étudiants en amphithéâtre avec un réel appétit de savoir : **ils désireraient intensément comprendre sur le fond** ce que nous leur enseignons car ils ne souhaiteraient pas seulement reproduire l'existant, mais voudraient aussi pouvoir prendre des initiatives.

Ainsi beaucoup viendraient en cours d'un pas alerte et l'œil vif parce qu'ils se sentiraient intelligents en participant à la construction du sens profond des savoirs étudiés et ils repartiraient le cœur en paix car ils auraient totalement intégré le fait qu'en cours on peut **partager une communauté de destin avec ses pairs et ses professeurs** : ils sauraient que **comprendre en profondeur ce qui est théorique et abstrait** est une ambition qu'on peut largement partager, une ambition très utopique certes, mais la seule qui soit vraiment réaliste pour donner tout son sens à leur venue à l'école.

Tous sauraient donc qu'on va beaucoup réussir et beaucoup échouer aussi dans cette quête du sens, car c'est très difficile pour tout le monde de comprendre sur le fond ce qui est complexe, et cette confraternité d'apprentissage donnerait à chacun le désir de vouloir réussir ensemble.

Bien évidemment, il s'agit d'un rêve auquel la dure réalité des classes et des amphithéâtres apporte souvent un démenti cinglant, et cependant.....

Le principe du « débat scientifique en cours » que nous vous présentons ici a pour origine et pour finalité que ce rêve devienne - par moments au moins - réalité pour le plus grand bonheur d'une majorité d'élèves/étudiants et de leur professeur : il nous semble qu'à ces moments cruciaux de construction collective de sens par le « débat », l'école parvient à jouer pleinement son rôle de creuset et de lieu d'expérimentation de ce que l'idéal humaniste et démocratique des Lumières représente de plus positif.

En quelques mots, de quoi s'agit-il sur le fond ?

Faire un « cours constructiviste » en exploitant le principe du « débat scientifique », c'est faire en sorte que les savoirs essentiels du programme (ceux dont le sens profond

n'apparaît pas spontanément même lorsque le professeur explique énormément) **ne s'introduisent plus dans la classe ou l'amphi à partir de propositions magistrales totalement achevées¹, mais plutôt à partir d'énoncés problématiques et de thèses que les élèves/étudiants apprennent à formuler, à soutenir et à rectifier ensemble en exploitant les modes d'exposition et de raisonnement propres à la discipline étudiée.**

Les débats entre les élèves/étudiants que le professeur autorise, organise et structure pendant le cours ont alors pour objectif **non de leur faire découvrir/inventer les savoirs du programme** (le professeur continuera à faire cours aux moments ad hoc) **mais de rapprocher le plus possible ces interlocuteurs du sens profond² de ces savoirs et des méthodes qui permettent de les établir.**

Ces débats, qui sont par nécessité souvent très naïvement argumentés au début de l'étude, tendent à devenir de plus en plus scientifiques dans l'avancée du cours s'ils sont systématiquement organisés aux endroits les plus délicats au niveau de la préservation du sens.

Les arguments que les élèves/étudiants apprennent alors à utiliser pour comprendre, se convaincre eux-mêmes et pour convaincre leurs pairs deviennent ainsi de plus en plus naturellement ceux de la raison (et non de l'autorité) ; les modes de persuasion qu'ils exploitent pour comprendre et convaincre se rapprochent alors peu à peu de ceux que la communauté savante utilise pour établir la pertinence et la vérité des corps de savoirs qu'elle élabore.

Avertissement à propos des mathématiques et des autres disciplines

Cette théorie du « cours constructiviste » a été élaborée par des mathématiciens et principalement expérimentée dans des cours de mathématiques du collège, du lycée et de l'université ; cela explique en partie le nom initialement choisi « le principe du débat scientifique en cours », et également le fait que la quasi totalité des exemples que nous donnons ici sont pris en mathématiques.

Il nous semblerait néanmoins très réducteur de vouloir cantonner ce principe de responsabilisation intellectuelle des élèves/étudiants aux seules mathématiques car beaucoup de postulats, principes et techniques³ proposés ici sont à notre avis, avec les aménagements indispensables, parfaitement exploitables dans d'autres disciplines, scientifiques ou non.

La seule vraie spécificité des mathématiques nous semble être la suivante : contrairement aux apparences, il est plus facile d'ouvrir un vrai débat dans un cours de mathématiques que dans une science plus appliquée ou que d'ouvrir un débat de nature plus littéraire ou philosophique ; il est plus facile d'ouvrir un tel débat en cours de

1 Propositions qui se présentent alors aux élèves/étudiants *comme des vérités institutionnelles tellement indiscutables* qu'il ne leur semble plus nécessaire de chercher à s'en faire une opinion propre, à leur donner un sens profond, pour arriver à les connaître.

2 **Dans tout ce texte, « donner un sens profond à un savoir », « intérioriser un savoir »** signifie pour nous, non seulement que le sujet élève/étudiant comprend ce qui est essentiel, mais en plus que **cela le transforme** : il voit le monde autrement, **il se forge une représentation suffisamment pertinente de ce que représente ce savoir pour en faire un outil intellectuel personnel dont il va pouvoir se servir ultérieurement**, qu'il va pouvoir investir de son propre chef **pour aborder d'autres problèmes, étudier d'autres savoirs et prendre des initiatives.**

3 Le sens profond de beaucoup d'exemples et de scripts de débats est à notre avis totalement accessible à un non mathématicien qui peut alors assez facilement observer ce qui va pouvoir se transposer directement, ou au contraire pas du tout, à sa propre discipline !

mathématiques.... dans la mesure où ce dernier se referme beaucoup plus facilement dans cette discipline que dans toute autre.

En effet, le propre des mathématiques étant de faire en sorte qu'il soit plus simple (moins facilement contestable) qu'ailleurs de trancher entre le vrai et le faux, le pertinent ou non, la plupart des propositions erronées ou non pertinentes proposées par un élève/étudiant sont facilement rejetées très convenablement par des pairs, et le consensus qui s'établit alors dans la classe ou l'amphi résulte alors davantage du respect des façons propres de penser dans cette discipline que par soumission et respect à l'autorité du professeur.

Il est clair qu'un enseignant ouvrira d'autant plus facilement un vrai débat en classe ou en amphi qu'il sera assuré que lors de l'institutionnalisation son rôle consistera principalement à mettre de l'ordre et à compléter ce qui sera apparu dans le débat, plutôt qu'à devoir lutter contre des idées fortes et en partie erronées auxquelles certains élèves/étudiants ne voudraient pas renoncer.

Avant-propos

A) Pourquoi vouloir organiser des « débats sur les savoirs du cours » dans une classe ou dans un amphi ordinaire ?

Même s'il faut oser rêver pour pouvoir se lancer dans une telle aventure, pour nous il s'agit principalement de **tenter de rétablir une cohérence entre un désir démocratique** largement partagé par l'ensemble des professeurs (le désir que le plus grand nombre possible d'élèves d'une classe ou d'étudiants d'un amphi s'intéressent à l'étude, comprennent véritablement ce qui est essentiel dans leurs enseignements) **et une dure réalité** cognitive qui semble obstinément s'opposer à ce projet : dès que les savoirs deviennent conceptuels et abstraits, on observe un peu partout que malgré toutes les « bonnes explications » données par les professeurs, **très peu d'élèves, très peu d'étudiants s'y intéressent véritablement et en saisissent le sens profond**, la majorité d'entre eux semblent perdus ou passifs et restent à la surface des choses ; beaucoup s'ennuient, ne retiennent des savoirs essentiels qu'une technique/recette qu'ils ne peuvent utiliser que peu de temps et seulement dans des situations très convenues.

Notre analyse de la situation nous pousse à penser que cette énorme distorsion entre notre désir de partage d'une véritable culture et la réalité des classes et des amphis, entre intentions didactiques et actions pédagogiques, trouve en grande partie sa source dans un paradoxe que l'école tend à ignorer, et qu'on pourrait appeler le **paradoxe de l'explication** :

« à certains moments, plus j'explique..., moins ils comprennent !!! »

En d'autres termes, la contradiction de l'enseignement que nous cherchons à dépasser en instaurant ces débats sur le savoir au cœur même du cours est la suivante :

- pour enseigner et apprendre, professeurs et élèves adoptent spontanément des positions didactiques convenues et en un sens opposées : le professeur organise le savoir et l'expose, il a l'initiative de toutes les propositions générales, les montre, les démontre, les

explique, il détient la vérité et rectifie les erreurs; l'élève, lui, écoute, apprend, **reproduit et met en application**.

Or ...

- **pour pouvoir saisir la signification profonde des savoirs complexes**, on constate bien souvent qu'il n'est pas éclairant d'avoir tout de suite la « bonne explication » d'un maître car, même si elle nous semble lumineuse sur le moment, en réalité pour la comprendre véritablement **il faudrait au préalable avoir pu se poser soi-même quelques-unes des questions essentielles** auxquelles ces savoirs fondateurs apportent des réponses consistantes et assurées.

De même, pour comprendre la réelle portée d'un résultat déconcertant, **il est souvent très avantageux de ne pas le percevoir tout de suite comme une vérité achevée** : sa signification profonde apparaît bien mieux à nos yeux si on a pu commencer par construire ses propres réponses et oser les confronter à d'autres qui sont incertaines, car **c'est souvent en découvrant l'insuffisance de notre vision première, voire sa fausseté, qu'apparaît la force d'un savoir** que le professeur peut alors présenter magistralement en gardant la compréhension de ses élèves/étudiants.

Le paradoxe est donc que par moments « **plus le professeur montre, démontre, détaille et explique** afin que beaucoup d'élèves comprennent sans difficultés, **plus il leur crée d'obstacles** à une compréhension de fond, car **il leur supprime l'obligation d'aller chercher eux-mêmes de quoi il retourne véritablement** ».

En agissant ainsi « pour les aider », le professeur pousse involontairement ses interlocuteurs à **n'être que des auditeurs** ayant seulement à écouter et à appliquer pour comprendre.

Cela **ne les incite pas assez à devenir ces auteurs réactifs, imaginatifs et rebelles** qu'il faut être pour avoir le désir, la volonté et la ténacité d'effectuer les démarches nécessaires à la découverte du sens profond des savoirs théoriques et abstraits.

Paradoxalement donc, **pour comprendre** ce qui est essentiel dans **les explications magistrales**, **l'élève doit pouvoir se soustraire et résister à la pensée d'un maître, il doit chercher à se faire une opinion propre sur le savoir dès le départ et tout au long de l'étude**.

Or, cela... seuls quelques élèves/étudiants d'exception pensent utile de l'entreprendre ; ceux qui le font régulièrement comprennent en général l'essentiel et réussissent remarquablement, **mais les autres, la grande majorité des autres, n'imaginent même pas que ça puisse leur servir, n'osent pas le faire, n'y parviendront jamais seuls sans apprentissage spécifique !**

Pour tenter de pallier ce déséquilibre qui à chaque cours creuse un peu plus le fossé qui sépare les élèves/étudiants d'une même classe, d'un même amphi, le professeur peut donc tenter d'organiser ces débats contradictoires sur le savoir lorsque l'expérience lui montre que le manque de questionnement initial d'un grand nombre d'élèves/étudiants ne va pas lui permettre de leur enseigner ce qui est essentiel en préservant le sens profond.

En organisant des « débats scientifiques » dans son cours, le professeur

- **prend acte d'un obstacle cognitif majeur** : le sens principal des savoirs complexes ne peut être enseigné frontalement à des élèves/étudiants qui ne sont pas encore prêts à les concevoir (le professeur accepte la « non toute-puissance de son pouvoir explicatif », il prend

acte que ce qui est encore trop hors du champ de préoccupation de ses interlocuteurs, ce qui va trop contre leurs préjugés et leur « bon sens » ne passera pas par son propre discours !).

• **tend à dépasser cet obstacle en l'affrontant dans son essence épistémologique⁴ même** : puisque c'est l'absence de questionnement qui interdit le plus la compréhension de fond, le professeur cherche à **transformer à certains moments le groupe** classe ou amphi (qui est en position d'écoute scolaire trop docile pour s'interroger véritablement) **en une mini communauté intellectuelle** afin que le plus grand nombre possible de ses membres **puissent enfin se poser de vraies questions**, puissent alors adopter les attitudes et pratiques de questionnement critique de ces communautés (**puissent adopter une position d'interlocuteur critique et d'auteur**).

Le professeur fait cela non pas pour donner aux élèves/étudiants l'illusion qu'il inventent le savoir, mais pour que ces derniers aient l'occasion de réfléchir d'une façon telle que **ce qui est théorique et abstrait prenne sens, devienne quasi concret pour eux** (comme c'est le cas pour les chercheurs) **car ils en parlent, ils le manipulent, ils le transforment**.

Cette possibilité de devenir partie prenante de la construction de la théorie transforme peu à peu les élèves et les étudiants : d'auditeurs passifs ils deviennent acteurs passionnés, ils ont envie de comprendre vraiment, ils viennent en cours avec appétit de savoir et intérêt pour l'étude (on s'approche à grand pas de notre rêve à tous !)

B) Organisation du partage de ces idées

Pour faciliter le partage avec vous d'une intention didactique très naturelle « **viser l'accès au sens profond des savoirs pour le plus grand nombre possible d'élèves/étudiants** », intention **démocratique et humaniste généreuse** mais dont la réalisation pratique est et restera toujours très problématique, nous vous proposons plusieurs cheminements complémentaires et différents.

En effet, quels que soient ses talents pédagogiques, le professeur qui souhaite faire faire un pas décisif à l'ensemble de ses élèves/étudiants vers cet **accès au sens profond des savoirs**, doit **accepter d'affronter** des difficultés énormes et doit savoir qu'il ne va pas réussir aussi vite et autant qu'il le voudrait (il doit en particulier accepter d'entrer dans un processus de progrès sur le long terme, pour lui et pour ses élèves/étudiants, processus qui ne correspond pas au rythme des réussites immédiates qu'il peut susciter beaucoup plus facilement en visant des acquisitions plus superficielles).

Ainsi, pour tenter de partager au mieux tout cela avec vous, nous vous proposons trois entrées dans cette problématique de changement de paradigme didactique que nous avons réparties sur trois tomes.

Le premier tome a été conçu de façon à être auto-suffisant pour celui ou celle qui veut se lancer dans cette aventure : sa lecture devrait permettre au professeur de savoir assez bien où il va et le type de risques qu'il prend en ouvrant de tels débats dans ses propres enseignements.

4 Dans tout ce texte l'épistémologie représente l'étude et l'analyse critique du savoir : une des fonctions essentielles des « débats de la communauté intellectuelle classe ou amphi » va précisément être de donner un rôle d'épistémologue à chaque élève, à chaque étudiant, i.e. attribuer une fonction active aux questionnements fondamentaux des élèves qui leur permettent de donner sens aux savoirs (**qu'est-on en train de faire ? pourquoi ? comment ? quelle validité, quelle pertinence ?**).

Cette première mise à distance à mi-chemin entre théorie et pratique devrait, nous le pensons, aider le professeur à organiser des débats consistants et simultanément à en faire une analyse critique assez objective pour pouvoir progresser en se nourrissant de ce qui a bien/mal marché dans chaque nouveau débat ; à terme ce professeur devrait donc pouvoir tirer un bilan globalement très positif du chemin effectivement parcouru vers plus de sens profond avec sa classe ou son amphi.

Le second tome cherche à théoriser de façon plus approfondie le changement de paradigme didactique proposé ; sa lecture nous semble importante pour le professeur qui veut inscrire cette transformation dans la durée, car la théorisation que nous y effectuons permet, nous le croyons, de mieux comprendre sous quelles conditions ce principe didactique peut devenir stable et pérenne bien que très différent, voire par moments très opposé à d'autres principes didactiques eux-mêmes extrêmement stables et actuellement dominants.

Dans la mesure où cette théorisation de deux systèmes didactiques très opposés sur des aspects essentiels permet de mieux comprendre pourquoi une grande majorité de professeurs ne peuvent d'instinct adhérer facilement à ce changement de paradigme didactique, ***ce pas de côté théorique doit pouvoir ouvrir des modalités pour arriver à mieux travailler en harmonie avec d'autres collègues dans un même établissement.***

Cela peut, nous l'espérons⁵, aider le professeur qui se lance dans cette aventure à transformer une hostilité a priori assez naturelle et forte de certains de ses collègues irrités par ce changement, en coexistence pacifique dans un premier temps, voire peu à peu s'il fait preuve de patience, d'intelligence et de diplomatie en un début de vraie coopération.

Le troisième tome aborde le délicat problème du partage des situations de classe ou d'amphi qui nous sont apparues comme importantes et robustes.

*Ce partage est délicat car on observe que si on ne précise pas assez les conditions de réalisation et le caractère en un sens crucial de certains choix, ces situations didactiques risquent de ne pas du tout produire ce qu'on en attendait, et simultanément **toutes ces précisions ne doivent pas brider la liberté du professeur !***

Il nous semble essentiel que ce dernier s'autorise à reconstruire en partie ces situations à partir de ce qu'il est et se sent de pouvoir faire avec telle classe ou tel amphi particulier, car il ne pourra confier une véritable responsabilité intellectuelle (la clef de ce dispositif) à ses élèves/étudiants s'il se sent corseté par une succession de consignes et de recommandations dont il ne ressent pas lui-même l'importance, voire l'absolue nécessité.

Nous proposerons quelques situations « extra-ordinaires » particulièrement robustes qui permettent d'initier ce principe du « débat scientifique » dans une classe ou un amphi ou d'aborder de façon très signifiante des concepts et théories dont le sens est particulièrement délicat à saisir au départ.

Nous donnerons en outre des scripts de débat et de leur institutionnalisation en essayant de proposer une analyse de ce qui, de notre point de vue, a bien/mal fonctionné dans la situation observée.

5 Nous avons bien regretté de ne pas avoir effectué plus tôt pour nous-mêmes cette théorisation qui nous aurait sans doute considérablement aidés à gérer plus intelligemment les résistances que nous avons rencontrées en mettant en pratique ce que nous décrivons ici, nous aurait certainement permis d'adoucir quelques rugosités d'un système qui se rebiffe naturellement contre tout changement de fond.

La publication de ces trois tomes qui font la synthèse de ce que nous pensons avoir compris autour de ce principe devrait ultérieurement faciliter une communication plus directe d'autres situations que nous utilisons régulièrement dans nos classes ou nos amphis ou que vous nous enverrez après les avoir testés dans vos propres enseignements (« communication plus directe » signifiant une présentation de ces situations sans avoir à reprendre dans le détail la philosophie et les techniques de conduite des débats qui sont nécessaires à leur efficacité).

De façon un peu plus détaillée, le premier tome se présente comme suit

Après avoir introduit ce principe autour d'un exemple, nous abordons la **description de cette philosophie et de cette pratique** sous quatre angles assez différents :

- **d'abord, en reprenant le fil de l'histoire de la découverte d'une certaine nécessité pour nous du « débat scientifique » dans les classes puis dans les amphis**, nous insistons sur un certain nombre d'événements conjoncturels qui nous semblent avoir joué un rôle déterminant dans la construction très pragmatique de ce qui va sur une quarantaine d'années se transformer peu à peu en la **présente théorie dont nous formulons les principes de base en fin de cette première partie** ;
- **dans les deux parties suivantes (II et III) nous traitons de la nécessité épistémologique et sociale du débat scientifique en cours** : nous développons des considérations qui indiquent en quel sens l'introduction d'une forme de « débat scientifique » en cours peut apparaître à d'autres que nous-mêmes **comme une nécessité absolue** de tout enseignement théorique qui se donne pour objectif prioritaire la construction du sens profond par une majorité d'élèves/étudiants.
 - **Dans la partie II, nous partons d'exemples concrets** qui montrent de quelle façon l'absence de tout véritable « débat scientifique » en cours débouche de façon récurrente et massive sur des **altérations du sens profond assez ahurissantes, sur un véritable effondrement épistémologique**⁶ et ce à tous les niveaux d'études et même auprès d'élèves/étudiants qui obtiennent régulièrement de très bons résultats aux évaluations classiques.
 - **Dans la partie III nous développons le paradoxe fondamental de l'éducation par l'instruction** : d'un côté tout montre l'importance sociale et éthique de viser la construction d'un sens profond à l'école auprès du plus grand nombre d'élèves et d'étudiants pour contribuer de façon décisive au bon fonctionnement d'une société démocratique et humaniste et de l'autre, tout dans cette même société pousse les professeurs à adopter des didactiques qui, à l'opposé du principe du « débat scientifique », font que la construction du sens profond n'y est plus un objectif prioritaire, ne compte plus véritablement, n'est pas nécessaire pour réussir car dans ces didactiques classiques tout est fait pour que ce ne soit pas la compréhension profonde des savoirs qui détermine la réussite ou l'échec scolaire.

6 Nous parlons d'**effondrement épistémologique d'un enseignement** lorsqu'une majorité, voire la totalité des élèves/étudiants ne voient plus du tout les théories et les techniques du cours en termes de compréhension du monde, de vérités solidement établies, d'outils de résolution de problèmes complexes, mais seulement comme des règles formelles à respecter en termes de légalité quand ils sont sous surveillance scolaire, règles formelles qu'ils vont par suite se donner le droit d'oublier ou d'aménager sans vergogne pour des raisons de simple commodité quand ils devront les faire intervenir hors du cadre de l'école ou de la discipline dans lesquelles elles ont été établies.

- ***Dans la quatrième partie*** nous reprenons de façon plus détaillée et plus technique tout ce que nous avons développé auparavant et qui nous paraît **essentiel pour que cette façon d'enseigner et d'apprendre soit cohérente et pérenne quand on cherche à la mettre en œuvre dans une classe ou un amphi ordinaire.**

Nous explicitons donc ces préjugés, ces conceptions, ces gestes d'enseignants qui n'ont l'air de rien a priori mais qui nous façonnent en tant que maîtres et qui déterminent en grande partie les contrats didactiques que nous passons implicitement avec nos interlocuteurs ; nous indiquons alors quels changements d'attitude anodins en apparence, notamment dans la façon d'interroger et/ou de recevoir des réponses, peuvent tout changer en pratique, et nous émaillons ces explicitations de nombreux exemples pris à divers niveaux qui montrent simultanément en acte les choix que nous sommes amenés à faire et la justification de ces choix très différents sur le fond des choix dominants.

C) Un exemple paradigmatique ou un clin d'œil pour sourire

Il y a peu de temps un de nos collègues qui faisait passer des *colles en classe prépa sciences éco.* demande à une étudiante de lui développer rapidement (car il était l'heure) une expression algébrique qui comportait un terme de type $(a+b)^2$;

- cette dernière lui répond : « *je fais court ou normal ?* »
- surpris, ce collègue lui demande ce qu'elle entend par « *court* » ou « *normal* »
- sans le moindre embarras cette étudiante lui répond :
 - « *court* » c'est développer $(a+b)^2$ le plus simplement possible : $(a+b)^2 = a^2 + b^2$
 - « *normal* » c'est faire ce que les professeurs demandent habituellement c'est-à-dire : $(a+b)^2 = a^2 + b^2 + 2a.b.$

(Fin de l'anecdote)

Pour tout scientifique, oser envisager cette double éventualité « *faire court ou normal* » comme une alternative, plausible, acceptable, licite, i.e. sans se poser la question de savoir si l'on va modifier un peu, beaucoup, énormément, totalement le résultat en effectuant cette « simplification de calcul » est... proprement impensable !

C'est impensable car ce serait pour ce scientifique comme pour un fin cuisinier envisager de ne pas mettre d'assaisonnement ou de ne pas vider le poisson avant de le cuire pour gagner du temps, ou à maçon de ne pas faire de fondations ou de de mettre moitié moins de ciment dans son béton pour faire des économies.

Pour un scientifique c'est impensable car s'il envisageait comme raisonnables de telles simplifications arbitraires, il ruinerait instantanément tous ses efforts de rigueur pour obtenir par sa science et ses calculs des résultats un peu plus assurés que ce que ne lui donne son intuition naïve quand il se laisse guider par son simple bon sens sans recourir à une quelconque théorie et/ou faire le moindre calcul.

Ce qui est donc impensable pour tout scientifique ne l'est pas pour cette étudiante, semble-t-il, puisqu'elle fait cette proposition très sérieusement à un professeur qui l'interroge et qui ne lui attribuera probablement pas une bonne note si elle lui dit trop d'énormités !

En d'autres termes, les calculs qui émergent ici ou là dans de multiples disciplines pour évaluer convenablement les grandeurs du monde, semblent être pour cette étudiante contraints par des règles très précises (« *faire normal* ») quand elle doit les effectuer sous le regard de son professeur de mathématiques, mais hors de ce regard (on est ici en train de faire des maths appliquées aux sciences éco) ils ne lui semblent plus contraints par les réalités qu'ils peuvent représenter. Cette étudiante peut donc avec sérieux leur appliquer des règles arbitraires (« *faire court* ») qui ignorent totalement cette réalité.

En clair, la rigueur mathématique à laquelle l'école a longuement éduqué cette élève et avec un certain succès puisqu'elle a bien réussi un bac scientifique et se trouve en classe prépa, ne semble pas destinée dans l'esprit de cette dernière à avoir une portée au delà de l'école, ici au delà du cours de mathématiques.

Le problème de fond que soulève cette anecdote (qu'il ne faut pas dramatiser en soi bien sûr puisque qu'on peut toujours d'une certaine façon ramener ce « drame » à sa juste proportion en se disant : ce calcul n'avait aucun enjeu vis à vis de la réalité du monde pour cette étudiante et de plus une telle légèreté est sans véritable conséquence sociale car quels sont donc les humains cultivés qui, une fois quitté l'école, ont vraiment besoin ne serait-ce qu'une fois au cours de leur vie entière, de développer convenablement un carré, pour prendre une décision importante ?) le vrai problème ici c'est, à notre avis, ***celui de la réalité des idées et par suite de la portée des savoirs.***

En effet, ***le propre de l'homme c'est, il nous semble et d'autres l'ont dit et redit avant nous, d'abord et avant tout « qu'il pense ! »*** ; au sujet de pratiquement tout, l'humain tente de se faire une opinion, ***développe des idées, et de ce fait sa force et sa faiblesse, c'est alors principalement son « besoin de sens*** : suivant le sens qu'il donne aux situations cet humain vit bien ou mal ces situations, se montre intelligent, créatif, responsable et entreprenant ou au contraire assez stupide, sans idée propres, sans responsabilité personnelle et collective car sans véritable appétit de vivre et de participer.

Il nous semble que toute la force de l'idéal des lumières c'est précisément de miser sur un citoyen humaniste et rationnel qui développe spontanément des idées propres et apprend en grande partie par l'instruction à les structurer par la théorisation et à les soumettre à l'épreuve des faits (apprentissage de la rigueur) afin que ces idées propres lui confèrent à la fois une certaine liberté et simultanément une certaine égalité dans la dignité d'une indépendance d'esprit raisonnée (i.e. une indépendance d'esprit qui mérite le respect d'autrui car elle est fondée sur d'autres bases que la poursuite de chimères dangereuses et /ou stériles).

Ce citoyen éclairé par l'instruction croit donc dans la force des idées, leur donne une réalité et sait par suite qu'on ne pas leur « faire dire n'importe quoi ! ».

L'école enseigne des savoirs théoriques donc des idées (elle ne fait que cela dans l'enseignement général) ; ***la question cruciale est de savoir quel est le statut de ces savoirs, de ces idées pour l'élève/l'étudiant, quel est leur degré de réalité ? n'ont-ils pas d'autre réalité que scolaire ?*** (c'est ce que pointe il nous semble cette anecdote)

Si l'on part du principe que l'école éduque en instruisant cette question est effectivement cruciale en terme de démocratie et d'humanisme car, ce qui n'est qu'un épi phénomène sans grande importance sociale au niveau des identités remarquables devient par

contre un vrai problème dans nos sociétés dites évoluées si la question de savoir « si on peut faire court ou normal » se pose assez régulièrement et au sujet de tout au citoyen cultivé qui doit en permanence prendre des décisions sociales et /ou professionnelles en se référant aux savoirs dont il a été instruit.

C'est un vrai problème de démocratie si la culture de ce citoyen ne lui permet pas de répondre catégoriquement « non ! » et seul à cette question i.e. sans se référer à la moindre autorité supérieure ; cela peut avoir, il nous semble, des conséquences dramatiques si ce citoyen adulte considère (en fonction des habitudes mentales prises dans ses apprentissages scolaires) qu'il est normal d'attribuer une valeur beaucoup plus formelle et réglementaire aux informations avérées qu'il reçoit et aux savoirs dont il dispose, qu'une valeur de description objective et de prédiction sur le monde tel qu'il est.

A chaque nouvelle catastrophe industrielle, nucléaire ou non, on apprend après coup (car tout était soigneusement caché jusque là) que des ingénieurs de haut niveau, des techniciens très hautement qualifiés des responsables politiques importants ont eu en main des renseignements, des rapports très circonstanciés, des thèses qui les avertissaient de l'éventualité du réel catastrophique tel qu'il s'est produit. On apprend aussi quand sont dévoilés les notes de services et les rapports confidentiels, comment ces avertissements, ces idées d'idéalistes, ces théories mal venues ont été balayées par ceux-là même qui étaient payés pour les prendre en compte parce qu'elles représentaient des entraves trop fortes à l'action et /ou au profit ; on s'aperçoit que chacun à son niveau propre n'a eu de cesse que de chercher à minimiser le risque, à contourner les règles de l'art en vigueur, voire dans certains cas quand cela coûte très cher à utiliser des méthodes de lobbying pour faire modifier les normes de sécurité afin que les « idées effectivement appliquées » soient conformes aux règlements.

On constate donc qu'une majorité de ces citoyens spécialistes longuement formés à l'école n'ont pas considéré que ces idées gênantes, celles qui dans une certaine rationalité décrivaient un réel allant contre leur projet et/ou leur intérêt immédiat, avaient néanmoins une force, une réalité suffisante pour eux, pour qu'ils se sentent obligés de les prendre en compte malgré et contre les résistances de leur entourage.

En terme de partage d'une culture scientifique cette anecdote (qui en réalité se produit à grande échelle et à tous les niveaux, nous le verrons de façon criante dans les nombreux exemples de la deuxième partie) est donc à prendre, à notre avis, comme un sérieux signe avertisseur du fait que nous avons très probablement échoué à transmettre une vision correcte de la science à cette étudiante.

Il semble qu'elle ait pu traverser nos divers enseignements scientifiques sans soupçonner que le véritable projet philosophique de la science était d'analyser le monde avec objectivité et de traiter les problèmes avec rigueur pour élucider ce qui est pertinent et vrai, et



que par suite les résultats et règles établies en science qu'on enseigne à l'école n'avaient pas pour fonction première de pouvoir être récitées convenablement dans des situations convenues mais bien de respecter les réalités sur lesquelles on les fait agir ; ***il semble bien que nous n'ayons pas du tout convaincue cette étudiante que le respect de nos règles de calcul n'était pas d'abord et exclusivement une exigence scolaire, mais d'abord et surtout le juste prix qu'il fallait payer pour obtenir des vérités plus assurées, pour que tout projet scientifique ait pour éthique de base le respect de « la réalité » !***

Le principe du « débat scientifique en cours » est initialement issu de la prise de conscience de la présence fréquente de ce type de réflexions iconoclastes assez faites spontanément par les « mauvais élèves » dans les classes de collège; notre surprise a été de découvrir qu'en introduisant de vrais débats sur le savoir dans les classes du lycée et les amphis du supérieur, il n'y avait malheureusement pas que les « très mauvais élèves »⁷ de fond de classe du collège pour faire des propositions aussi inimaginables. Au fil des années nous avons découvert que les formules ou les résultats théoriques que nous enseignons convenablement, que tous ces résultats exacts que nos « bons élèves/étudiants » savent très bien réciter et qu'ils appliquent assez convenablement quand on leur indique clairement ce qu'ils ont le droit ou non de faire, n'acquièrent néanmoins aucune véritable consistance épistémologique⁸ auprès de la très grande majorité d'entre eux !

C'est ainsi qu'en sciences et notamment en mathématiques, beaucoup d'élèves pensent après de nombreuses années d'études que (comme dans d'autres situations de la vie non scientifiques par ex. publicité / marketing / politique politicienne /...) tout est principalement une question de présentation : « *si vous doublez une quantité, son carré pourra doubler ou quadrupler suivant que vous choisirez d'en faire une présentation « courte » ou « normale » ; c'est... selon ! Ça n'a pas vraiment d'importance !! Cela dépend essentiellement du fait de savoir si vous êtes pressé ou si vous voulez absolument qu'on écrive les choses de façon académique !!!* »

Pour un très grand nombre de nos « bons élèves », si les savoirs scientifiques que nous leur enseignons ont une réelle exigence scolaire (pour passer dans la classe supérieure, être sélectionnés ces élèves ont compris qu'il faut savoir respecter des règles précises et contraignantes...), ils ne leur apparaissent pas du tout comme des idées fortes, comme de véritables outils de compréhension du monde et de maîtrise des situations complexes, des outils sophistiqués qui doivent par suite respecter des règles précises pour demeurer pertinents et fiables dans leur analyse et description du « réel ».

7 En réalité, nous avons pu constater que dès que des élèves du lycée ou des étudiants même de niveau très avancé se trouvent dans un « contrat didactique » du type « débat scientifique » où ils peuvent oser déclarer publiquement ce qui leur semble personnellement pertinent/licite/vrai, ce qu'un grand nombre d'entre eux propose alors révèle une perception de la science du genre «*peut-on faire court ou normal* » qui peut faire dresser les cheveux sur la tête de tout professeur (y compris ceux qui sont toujours prêts à minimiser ce type de contre-sens ou der non-sens en partant du principe qu'il s'agit probablement là d'un simple malentendu !

8 Nous reviendrons souvent sur cette notion de consistance épistémologique car elle joue, à notre avis, un rôle essentiel dans la valeur sociale des apprentissages scolaires (suivant la consistance épistémologique des apprentissages, ce qu'on a appris à l'école a ou non des chances de nous servir utilement dans la vie sociale et professionnelle). Disons pour l'instant que nous signifions ici par l'expression « faible consistance épistémologique des apprentissages scolaires » que des élèves/étudiants placent très peu les théories et les techniques du cours en termes de rapport à la réalité, en terme de compréhension du monde, de vérités solidement établies, d'outils de résolution de problèmes complexes, ils les voient plutôt comme des règles formelles à respecter en termes de légalité quand ils sont sous surveillance scolaire, règles formelles qu'ils vont par suite avoir tendance à oublier ou à aménager sans vergogne pour des raisons de simple commodité (*faire court ou normal!*) quand ils devront les faire intervenir hors du cadre de l'école ou de la discipline dans lesquelles elles ont été établies.

En particulier, les mathématiques sont pour bon nombre de ceux qui disent « les aimer » un système fermé qui fonctionne bien « à vide », une discipline scolaire dans laquelle on peut exceller si on y respecte bien les règles du jeu, elles ne leur apparaissent pas du tout ou de façon marginale comme un système de pensée fait pour comprendre objectivement certains aspects essentiels du monde, comme un langage expressément construit pour faire apparaître ce qui dans le monde relève ou non de la nécessité.

Nous faisons l'hypothèse que le fait que ce soit le professeur seul qui construise habituellement les objets théoriques et qu'en mathématiques il puisse, de plus, faire exister par ses définitions des objets de pensée qui ne procèdent pas a priori de l'observation d'une réalité du monde sensible, pousse beaucoup d'élèves/étudiants à imaginer qu'il s'agit là d'un monde totalement à part où il est possible de s'exempter des contraintes les plus fondamentales de la logique du monde ordinaire. Dans la vie ordinaire si un objet est « noir », personne ne peut le déclarer sérieusement « blanc » sans être suspecté d'être un peu dérangé d'esprit, mais en cours de math., c'est autre chose, cela devient « envisageable » et ce, sans avoir à changer, pour que cela devienne acceptable, la signification des qualificatifs « noir » et « blanc » !)

Par suite, pour beaucoup d'élèves/étudiants l'invraisemblable et l'arbitraire peuvent redevenir légitimes et licites en mathématiques (nous en verrons de nombreux exemples qui ressortent des débats) dès lors que le professeur n'intervient pas explicitement, et plusieurs fois, pour désigner tel ou tel comportement précis comme une erreur et/ou une faute de raisonnement qui sera sanctionnée si elle réapparaît aux contrôles

En pratique, quand nous introduisons assez régulièrement des « débats scientifiques » dans une classe ou un amphî ordinaire, un de nos premiers objectifs est donc de redonner force et réalité pour les élèves/étudiants à ces idées abstraites que sont les savoirs théoriques : en apprenant à débattre de leur pertinence et de leur vérité il découvrent que ces idées sont porteuses de significations profondes sur le monde et qu'à ce titre elles ont une réalité propre et qu'on ne peut par suite les modifier à sa guise ou leur faire dire ce qui nous plait, par simple convenance personnelle ou sociale .

Nous avons alors pour ambition que, progressivement, le scénario idéal suivant entre peu à peu dans l'ordinaire d'une classe de troisième par exemple :

Dans une telle classe, il y a sûrement, au moment où le professeur introduit les identités remarquables, des élèves qui pensent comme notre étudiante; ils pensent qu'on devrait retirer le double produit pour simplifier le développement du carré car

« *c'est bien plus simple et naturel d'écrire $(a+b)^2 = a^2 + b^2$ ».*

- 1) Le climat du groupe classe (le contrat didactique) doit alors être tel qu'un de ces élèves au moins ose faire à la classe une proposition de cette nature : il ose proposer à la classe de « *faire court* » dans la mesure où il ne voit pas pourquoi le professeur s'oblige à « *faire long!* »
- 2) Face à une telle proposition le professeur doit pouvoir arriver à maîtriser sa surprise, il ne froncera pas les sourcils, il ne réagira pas immédiatement en terme de vrai/faux, mais il demandera tout naturellement à tous les élèves de réfléchir pour prendre parti.

Après un temps de réflexion

- 3) Les autres élèves qui pensent également qu'on peut « *faire court* » ne doivent pas craindre (contrat didactique) d'être pris dans un piège en disant ce qu'ils

pensent, ils doivent donc pouvoir manifester sans méfiance leur accord car
« *pourquoi faire long quand on peut faire court!* »

4) Les élèves qui pensent qu'il faut « *faire long* » doivent pouvoir s'expliquer sur cette nécessité ; par exemple : « *long, c'est ce qu'on obtient en développant convenablement le produit et/ou c'est ce que le professeur fait habituellement!* »

Le débat qui peut alors s'engager, va trouver sa **pleine efficacité** si par chance (mais aussi par **nécessité épistémologique**), il incite quelques élèves à **faire monter le problème d'un cran** en obligeant la classe à aborder **le problème du caractère scientifique ou non** de la proposition initiale.

En effet, là est la clef de ce dispositif : ce qui, au-delà du problème particulier (anecdotique en un certain sens) du développement d'un carré, va probablement faire le plus progresser l'ensemble du groupe classe, c'est que chacun soit obligé de se poser la question épistémologique cruciale : ***indépendamment de ce que dit ou pense le professeur, a-t-on la liberté « en réalité » de poser cette alternative ? i.e. « est-il réaliste d'envisager de supprimer un terme dans une écriture formelle sans se soucier de son influence sur les résultats qu'une telle écriture peut représenter ? »***

5) Au début de l'année, une intervention méta de cette nature est peu probable, mais au bout de quelques mois de pratique du « débat scientifique en classe », ***il est presque certain qu'un ou plusieurs élèves*** (un seul suffit, car l'essentiel est ici que ce ne soit pas le professeur) ***va protester vigoureusement contre la proposition de considérer les deux modalités de l'alternative « court » ou « long » comme équivalentes.***

La tâche de ces élèves n'est pas facile car comment expliquer à leurs pairs en termes simples et convaincants pourquoi ils ne sont pas d'accord en terme de « logique et/ou de réalisme » !

6) Par exemple, un élève peut commencer par dire :

- « *Si on dit que les deux développements sont « justes » cela veut dire que :*

$$a^2+b^2 + 2a.b = a^2+b^2 \quad \gg$$

- « *et alors !* » peuvent rétorquer de bonne foi quelques pairs qui tiennent à leur simplification (une telle égalité n'a rien d'impossible puisqu'on rencontre souvent en mathématiques - en particulier dans les identités remarquables - des formules où deux expressions très différentes sont néanmoins considérées comme égales !

Et alors, si les protestataires veulent vraiment convaincre leurs pairs qu'ils ont tort de ne pas s'insurger au nom de la logique devant cette égalité, ils vont être obligés d'avoir recours à l'arme absolue de la contradiction en mathématiques : « le contre-exemple »!

Il leur suffit alors d'en exhiber un très simple qui soit incontestable et qui permettra alors (si la classe a déjà débattu de la force du contre exemple précis dans une étape antérieure) de trancher clairement entre les affirmations générales qui sont logiquement fausses et celles qui sont valides.

7) Par exemple un élève peut pour clore rapidement la discussion proposer :

- « prends $a = 1$ et $b = 2$, tu vois bien que tu nous dis que « $4 = 0$! » ou encore que « 5 c'est la même chose que 9 ! » .

Et avec la conviction absolue que dans cette communauté intellectuelle, personne, pas même le professeur ne pourra le contredire, il peut rajouter :

- *Et ça vous êtes tous d'accord que ce n'est pas possible !*

Devant cet accord général de la classe, le professeur peut institutionnaliser le « savoir méta » abordé dans de ce débat de la façon suivante :

La proposition « on peut faire ou normal » ou encore « on peut supprimer un terme dans une écriture formelle sans regarder son incidence sur le résultat » ne peut être pris comme une règle générale, en tant que proposition universelle elle est totalement illégitime puisqu'elle peut produire des absurdités ; par suite notre communauté classe la rejettera systématiquement sans nouveau débat si elle refait apparition pour simplifier une expression algébrique !

Telle pourrait être la fin d'un scénario idéal espéré par le maître et... qu'il n'est pas déraisonnable d'attendre des élèves d'une classe de troisième ordinaire.

Et, nous pensons que si un tel scénario se déroule à plusieurs reprises dans l'année (ce qui se produit assez naturellement avec cette didactique du « débat scientifique » dans laquelle l'erreur grossière n'est pas immédiatement stigmatisée par le professeur, mais au contraire reste pendant un temps entretenue comme potentiellement valide pour que la classe puisse la travailler et en comprendre le sens et la portée), on peut faire le pari qu'un grand nombre d'élèves de cette classe de troisième sera, sur de tels sujets fondamentaux, beaucoup plus fortement entré dans l'intimité de ce que représente la démarche scientifique que ce que cette étudiante de classe prépa. semble manifester.

D) Quelques observations/constats sur lesquels repose l'écriture de ce texte :

1) Quel bilan global d'une pratique régulière du « débat scientifique » en cours ?

Au vu des objectifs affichés, un bilan globalement très positif

- Si l'objectif que nous poursuivons prioritairement est d'arriver dans nos classes et nos amphithéâtres à une plus grande compréhension de la nature, de la force et de l'utilité d'une démarche intellectuelle, si notre désir de professeur est que beaucoup et pas seulement une très petite élite de nos élèves/étudiants arrivent à donner sens, et un sens fort et pertinent aux théories et concepts très abstraits que nous avons à leur enseigner, nos recherches et expérimentations à tous les niveaux du collège, du lycée et de l'université nous permettent d'affirmer sans réserve que l'outil didactique « débat scientifique » dont nous vous entretenons ici, est adapté à cet objectif et peut fonctionner dans une classe ou un amphithéâtre ordinaire comme nous le décrivons.

On peut donc imaginer que lorsque cette didactique du « débat » fonctionne de la façon dont nous vous le décrivons, ce qu'une telle pédagogie peut apporter effectivement à la plupart des élèves/étudiants en terme de culture citoyenne démocratique est ... « énorme ! »

Les contreparties fortes de ce « très positif »

- Un tel apport du « débat », s'il est bien réel quand il fonctionne dans une classe ou un amphi, ne va pas, on s'en doute facilement, sans contrepartie : les recherches que nous effectuons dans notre groupe IREM tendent à montrer que pour qu'un tel outil didactique fonctionne de façon régulière dans l'ordinaire d'une classe ou d'un amphi, il faut le plus souvent que le professeur ait accepté au préalable d'aller revisiter très en profondeur sa propre vision du savoir, la place et le rôle qu'il donne à la construction du sens dans les apprentissages, la place et le rôle qu'il se donne d'un côté et qu'il donne de l'autre à ses interlocuteurs dans la construction de ce sens.

- Le professeur qui veut explorer cette voie doit donc d'une certaine façon accepter de repenser en profondeur, son propre rapport au savoir et les raisons des pratiques pédagogiques les plus usuelles qui sont très souvent contraires à l'esprit du « débat scientifique » (ce que nous proposons d'une certaine façon au Tome II en construisant le modèle monstratif).

En effet, pour mener utilement ces débats en classe/amphi, les résistances/difficultés les plus importantes que le professeur pourra rencontrer dans un premier temps viendront probablement bien davantage des réflexes et pratiques hérités de son propre passé d'élève d'abord, puis de professeur, que des réticences éventuelles et du manque de pratique de ses interlocuteurs.

Pour réussir, ce professeur devra donc assez probablement approfondir son épistémologie des savoirs et l'éthique de leur transmission ; il devra aussi modifier énormément ses gestes/réflexes didactiques les plus enracinés, car au bout du compte c'est un véritable changement de paradigme didactique dans lequel il s'engage et auquel il doit associer ses élèves/étudiants pour atteindre les objectifs visés.

2) Deux mots sur l'écriture même de ces trois tomes

a. Quels en sont les différents auteurs, quels ont été les rôles et places respectifs de chacun dans l'écriture collective

Les auteurs principaux de la version définitive de ce texte sont Marc Legrand (université), Thomas Lecorre (lycée), Liouba (Antoine) Leroux (collège), Anne Parreau (université).

Effectuant leur recherche sur le « débat scientifique » à l'IREM de Grenoble, ces auteurs ont tenté d'exploiter au mieux la complémentarité de leurs positions respectives pour approfondir l'écriture d'un texte dont les premières moutures remontent aux années 2004, i.e. à un moment où tous les membres du groupe exerçaient simultanément un travail d'enseignement et de recherche.

Au départ de l'écriture actuelle nous voulions regrouper dans un même ouvrage, pour le mettre à disposition des professeurs, l'essentiel de ce qui nous était apparu positif et pérenne sur ce sujet. Vu les nombreux écrits que nous avons déjà publiés à l'IREM et dans des revues, il

nous semblait qu'une année ou deux nous suffiraient pour faire cette sorte de bilan/synthèse des trente dernières années en les regroupant et en les réorganisant.

Et puis peu à peu, en reprenant des textes plus anciens et en relisant de façon critique ce que nous avons (re)rédigé en vue d'expliquer le plus clairement possible de quoi il retourne sur le fond à un lecteur-professeur qui souhaiterait comprendre les mécanismes de ces « débats scientifiques » afin de pouvoir les utiliser dans ses propres enseignements, nous nous sommes aperçus que ces explications - si elles se voulaient d'un côté être assez complètes et fidèles aux réalités que nous observons/expérimentons, et de l'autre être exprimées en langage accessible au professeur praticien - ces explications donc, se retrouvaient de ce double fait beaucoup plus délicates à structurer et à rédiger que nous ne le pensions premièrement.

Au cours des séances de travail critique de ce que nous avons produit, nous avons assez vite réalisé (en nous appuyant sur les discussions informelles que chacun de nous pouvait avoir sur ce sujet avec d'autres collègues ou en réfléchissant aux débats qu'engendrent nos propositions quand elles sont faites à des collègues dans des ateliers, des séminaires ou des formations) que ce que nous écrivions et qui nous semblait en première lecture très clair et non ambigu, risquait d'être mal compris à de nombreux endroits importants !

En démontant notre description du « débat scientifique en cours » il nous apparaissait de plus en plus souvent que probablement, bon nombre de nos propositions seraient mal interprétées non parce que le lecteur serait trop enfermé dans des conceptions et habitudes didactiques orthogonales au « débat scientifique » pour nous comprendre véritablement⁹, mais parce que ce que nous écrivions et qui n'était pas faux, ne rendait pas forcément compte de la complexité du réel d'une classe ou d'un amphi tel que nous l'observons/vivons (et ce bien que nous tentions de le décrire avec pertinence et objectivité), ni ne prenait suffisamment en compte les résistances naturelles et fondées qui poussent tout professeur à ne pas aller en pratique dans cette direction.

Ce que nous proposons décrivait un peu trop cavalièrement comme allant de soi des actions didactiques audacieuses que chacun hésite à mettre en œuvre quand il est dans sa classe ou son amphi.

Le mécanisme de cette prise de conscience a été en partie le fruit de la conjonction de nos positions respectives :

– d'un côté, Marc n'intervenant plus directement dans les classes ou les amphis, excepté pour des actions très ponctuelles puisqu'il est à la retraite depuis 2005, peut profiter de la plus grande disponibilité que lui offre cette position et de la mise à distance de fait de l'action directe d'enseigner, pour tenter de rassembler et d'écrire la synthèse de ce que toutes les années d'expérimentation et de recherche lui ont permis d'entrevoir; de plus, il peut aussi plus facilement accepter (que s'il était encore soumis à la pression d'autres travaux à mener au quotidien) de remettre cent fois sur le métier ce qu'il écrit d'abord d'une façon qui lui semble pertinente et qui est sans cesse remise en question par la discussion et l'analyse du groupe.

– d'un autre côté, Anne, Liouba et Thomas qui ont des élèves ou des étudiants en responsabilité et qui ne peuvent de ce fait disposer aisément du temps nécessaire pour re-

⁹ Nous faisons l'hypothèse qu'un professeur qui nous lit non superficiellement, est un lecteur ouvert avec qui nous pouvons communiquer par écrit sur le fond dans la mesure où il a déjà rencontré les problèmes que nous abordons, s'est posé des questions, a fait des tentatives ; nous faisons donc l'hypothèse que sans forcément voir les choses comme nous, notre lecteur partage néanmoins notre problématique sur un certain nombre de points essentiels, ce qui est un facteur déterminant de compréhension profonde - un facteur « suffisant » si, de notre côté, nous fournissons les « bonnes explications ».

rédigé eux-mêmes un texte aussi développé, ont par contre de par leur position de professeur en exercice la possibilité d'expérimenter/vérifier/critiquer in vivo la pertinence/vérité de ce que le groupe tend à mettre en avant, ils peuvent alors susciter des modifications très importantes de ce que Marc rédige seul.

Bien entendu ce procédé a un coût très important en temps et en énergies puisque malgré un travail continu nous n'avons toujours pas publié en 2011 ce que nous espérons sortir en 2006 mais, de notre point de vue, ce coût énorme n'est pas à regretter car cela nous a permis de réaliser des modifications de fond que nous jugeons a posteriori comme déterminantes sur trois aspects au moins:

i) Tout d'abord cela nous a obligés à ***mieux décrire et expliciter la place et le rôle décisifs des moments magistraux dans ce principe du « débat scientifique »*** : nous soutenons dans ce texte que plus le professeur veut donner une réelle responsabilité scientifique à ses interlocuteurs dans les débats, plus il doit assumer pleinement sa responsabilité magistrale à d'autres moments, afin d'intervenir avec toute l'autorité institutionnelle d'un maître quand il fait cours et/ou conclut en fin de débat (et aussi, et c'est ce qui est très délicat, à certains moments spécifiques du débat).

Quand, en cours de « débat », le professeur reprend une position d'autorité institutionnelle pour recentrer la discussion ou pour recadrer un point précis annexe qui fait obstacle au débat rationnel sur le sujet principal, ***il doit alors « faire cours » sans honte***, i.e. sans ambiguïté sur la portée de son discours, ***sans se croire obligé de solliciter l'approbation de ses élèves/étudiants*** sur le point qu'il précise, sans chercher à se faire pardonner de ré-occuper momentanément sa position de maître.

C'est, « bien sûr! », ce que nous pratiquions dans le réel de nos enseignements, c'est ce qui était dit et formellement écrit à certains endroits de nos différents textes, mais ce n'était pas toujours ce que nos lecteurs/auditeurs retenaient comme impression globale quand ils lisaient nos écrits ou suivaient nos conférences; ***certain tiraient de notre discours la croyance erronée en l'existence d'un débat idéal, i.e. « un débat qui aurait pu se dérouler magiquement entre les élèves/étudiants sans avoir recours à des interventions fortes du professeur »***.

Certains de nos « adeptes » étaient par suite très dépités/décus par la mise en pratique de nos propositions car, dans un cours réel, pour qu'il y ait un enseignement effectif, ces interventions ponctuelles le professeur doit absolument les faire à certains moments sur des points litigieux afin de recadrer les propositions de ses élèves/étudiants, relancer la recherche, faire en sorte que tous puissent participer en intelligibilité aux discussions.

Habituellement, i.e. dans un enseignement « monstratif » classique, le professeur intervient à tout bout de champ pour donner son opinion sur presque tout; il faut donc, s'il veut introduire une once de « débat scientifique » dans ses enseignements que, ***dans un premier temps, ce professeur qui cherche à se transformer*** se mette une sorte de muselière pour ne pas être dépassé malgré lui par ses pulsions interventionnistes, ***mais dans la durée***, si ce professeur ne trouve pas le bon équilibre entre se taire totalement ou intervenir sur tout, si pour respecter l'esprit des consignes de neutralité absolue sur le thème central (qui doit absolument rester problématique pendant tout un temps dans la classe ou l'amphi), le professeur prend ces consignes de neutralité à la lettre et ***n'intervient plus sur rien***, même quand il faut absolument recadrer le débat, recentrer la recherche, ***alors, à moins d'un miracle***, la situation s'effondrera et/ou le débat s'arrêtera ou se pervertira : ***on n'apprendra alors plus rien de consistant par ce procédé***.

ii) Ensuite, nous avons pris conscience que sans le vouloir délibérément, nous éludions abusivement dans nos écrits ***les objections sincères et naturelles que nombre de nos collègues font à nos propositions.***

Cela nous a conduits à prendre davantage en compte sur le fond le pourquoi des pratiques didactiques dominantes qui « interdisent » d'une certaine façon que s'instaure un véritable « débat scientifique » dans une classe ou un amphi.

Prendre en compte sur le fond ces objections qui interdisent de modifier des pratiques didactiques qui barrent la route à la construction d'un sens profond et/ou génèrent assez systématiquement des contresens signifie : ***ne pas se contenter de critiquer ces pratiques*** et en montrer avec force les effets très néfastes, mais d'une certaine façon au contraire tenter de ***mettre en évidence ce qui les justifie, ce qui les rend incontournables aux yeux de la très grande majorité des professeurs.***

Cela nous a obligés à construire un cadre théorique dans lequel deux modèles vont prendre en compte non seulement ce vers quoi nous tendons : « *un cours où concepts et théories s'introduisent par un « débat scientifique » qui permet d'en saisir dès le départ le sens profond* », mais aussi ce dont nous partons tous : « *les pratiques didactiques monstratives dominantes où le professeur est responsable de tout en terme de vérité et de pertinence* », pratiques dont nous cherchons à nous éloigner ici, vu leurs conséquences par trop néfastes au niveau de la construction d'un sens profond.

Ces deux modèles vont alors permettre de distinguer deux types de didactiques totalement opposées par les principes épistémologiques et cognitifs sur lesquels elles reposent : ***les pratiques dominantes où l'on tend à faire éviter les obstacles aux élèves*** en leur montrant directement les bonnes solutions, et ***les pratiques constructivistes où l'on cherche au contraire, dans un premier temps, à faire rencontrer aux élèves les paradoxes et contradictions inhérents à toute généralisation***, afin qu'ils s'initient peu à peu aux méthodes de travail intellectuel qui consistent à tenter de surmonter ensemble les obstacles, non en les ignorant grâce à l'aide d'un spécialiste, mais plutôt en les affrontant collectivement (i.e. en cherchant à dépasser par le débat les contradictions fortes qui menacent la compréhension de toute nouvelle théorie).

Ce travail théorique de construction de ces deux modèles didactiques où s'explicitent les principes différents qui engendrent et structurent des pratiques opposées, nous ne l'avions pas effectué auparavant et il résulte pour une grande part de ce travail critique incessant du groupe autour de deux questions cruciales :

- d'un côté, comment justifier les choix coûteux du « débat scientifique » auprès d'un collègue qui est profondément installé dans des pratiques opposées, apparemment beaucoup plus économiques?

- d'un autre côté, lorsqu'un collègue est convaincu de la nécessité de changer dans le sens que nous indiquons, si sur un plan philosophique il adhère fortement à ce projet de « débat en cours » en vue de la (re)construction/(re)conquête du sens, comment ce professeur peut-il alors se défaire de pratiques bien enracinées qui s'y opposent résolument ?

iii) La troisième évolution a consisté à nous ***construire les moyens d'une certaine liberté d'écriture dans notre groupe de recherche*** qui respecte à la fois ce que nous sommes, nos convictions propres et la nécessaire objectivité/prise de distance qui, sur un plan épistémologique comme éthique, doit accompagner une telle écriture à l'adresse des collègues.

Ainsi, plus nous avons avancé dans nos réécritures successives, plus nous avons osé **mettre clairement en évidence ce qui dans nos choix théoriques vient en partie de la contingence de nos aventures de vie propre**, afin de mieux faire ressortir comment nous avons été amenés à rattacher des faits en un sens conjoncturels et privés à des occurrences plus universelles qui relèvent d'une certaine nécessité; cela nous a conduits à mieux **dégager les principes généraux** qui semblent fortement conditionner les choix que nous faisons au quotidien de nos pratiques et qui donnent sens et portée à nos gestes professionnels.

Au bout du compte, nous avons tenu à marquer dans la rédaction même du texte cette évolution qui tente de mieux faire la part entre le conjoncturel privé et le nécessaire plus universel afin que le lecteur puisse plus facilement situer qui parle et d'où il parle, et ainsi ne pas se trouver trop souvent soit en présence d'un dogmatisme de groupe de recherche insupportable à l'enseignant praticien, soit face à des consensus mous et à des affirmations très générales sans réelle consistance pour celui ou celle qui veut réellement faire évoluer ses pratiques : tous ceux qui ont tenté une écriture collective savent bien que la tâche est assez délicate, car à vouloir tout mettre sous la bannière de la grande scientificité/objectivité propre à un groupe de recherche, soit on se donne une universalité illégitime, soit on perd en force et en sincérité du propos.

Pour écarter un peu cet écueil nous avons donc choisi (surtout au tome I qui tente d'explicitier la nature et l'esprit de ce changement de paradigme didactique à partir de notre vécu propre d'élève, d'étudiant, de professeur et de chercheur) d'adopter un **mode d'écriture hybride où alternent les « je » et les « nous »**.

Le « je » désigne le plus souvent Marc, auteur des moutures initiales de ce texte et le « nous » désigne le groupe complet de recherche qui analyse, critique et fait évoluer ces propositions de rédaction à partir du vécu propre de chacun avec ses élèves/étudiants et en rapport avec les réactions des collègues dans les divers établissements.

Au final nous avons convenu de respecter dans l'écrit que nous publions ici le triple engagement suivant :

- ne pas vous cacher ce qui nous paraît collectivement comme très positif, mais ne pas taire non plus les difficultés que chacun rencontre séparément (en particulier faire en sorte que rien de ce que nous vous proposons de positif à propos du « débat » ne soit une description trop idyllique de ce que chacun parvient à vivre au quotidien de ses propres enseignements, et inversement que rien de ce que nous décrivons comme un échec des enseignements classiques ne soit, à nos yeux, une moquerie, une caricature de ce qu'on rencontre habituellement dans les classes et les amphis où tout ce qui s'apparenterait à une forme de « débat scientifique » est a priori exclu);

- que tous les membres de notre groupe puissent souscrire sans réserves de fond à ce qui figure derrière les « nous »,

- que Marc puisse, grâce aux « je », garder une certaine spontanéité pour relater des expériences plus personnelles et/ou exprimer à sa façon des convictions plus intimes.

Il doit donc être clair pour le lecteur que si, pour l'essentiel, Anne, Liouba et Thomas ne rejettent pas ce qui est placé derrière ces "je", ils ne sont pas de fait engagés par ce que Marc exprime ainsi et/ou par la façon dont il le dit.

Pour être complet, disons également que si Anne, Liouba et Thomas ont été les relecteurs critiques assidus et attentifs de toutes les versions successives proposées par Marc et

les ont fait ainsi beaucoup évoluer tant sur la forme que sur le fond, notre groupe a souvent été enrichi des réflexions d'Hélène Di Martino qui a largement participé à bon nombre de nos séances de travail sur le « débat scientifique en cours ».

Les autres contributions essentielles à cette écriture

Si initialement les bases du « débat scientifique » dans des classes ou des amphis se sont construites de façon très empirique à partir de la quête de Marc autour de la préservation du sens dans ses propres enseignements, il est clair que tout cela n'aurait pas pu dépasser le stade de l'innovation personnelle si par l'intermédiaire des collègues chercheurs Marc n'avait pas été mis en relation avec ce que les recherches existantes en épistémologie et en didactique nous apportent de très précieux comme éclairage sur ce sujet.

En pratique, en participant à partir des années 1976 aux activités de recherche de l'IREM de Grenoble, toutes les recherches individuelles de Marc se sont muées en recherches collectives dans différents groupes rassemblant des enseignants du secondaire et/ou du supérieur et ont été dès ce moment très influencées par les courants de pensée qui existaient dans ces instituts :

- d'abord par les idées fondatrices sur « la construction du sens » développées par Freinet, Bachelard et Piaget;

- ensuite par la reprise de ces idées sous un angle plus didactique, principalement par Guy Brousseau dans la « théorie des situations didactiques » et par Yves Chevallard dans sa « théorie anthropologique du didactique », ainsi que par Gérard Vergnaud avec la « théorie du champ conceptuel » et par Régine Douady avec la théorie « du jeu de cadre et de la dialectique outil-objet ».

Nous reviendrons au chapitre 2 sur ces différentes recherches fondamentales en didactique pour montrer de quelle façon elles nous ont énormément aidés à structurer ce qui n'était souvent au départ que des intuitions didactiques corroborées par l'expérimentation.

Dans tous nos groupes de recherche, nous n'avons jamais pris ces théories didactiques comme des dogmes qu'il faudrait tenter d'appliquer à la lettre car nous avons toujours été persuadés qu'en didactique plus que partout ailleurs, les théories doivent se plier au réel et non l'inverse et nous ne nous sommes pas gênés pour les critiquer et nous en écarter là où elles nous semblaient inadéquates /inapplicables, mais il nous faut néanmoins reconnaître que l'esprit, le cadre, les mots de ces théories didactiques ont été constamment d'une aide très précieuse pour nous permettre de mieux appréhender et comprendre ce qui pouvait faire marcher ou échouer les débats que nous organisons en cours, ce qu'on pouvait attendre de ces débats en terme de sens sur les savoirs et... ce qu'il ne fallait surtout pas leur demander à ce niveau.

En particulier, je pense qu'il n'est pas faux de dire que le principe du « débat scientifique » tel que nous l'exposons ici est, dans sa formalisation actuelle, en filiation directe avec la théorie des situations; pour nous cela a été une façon d'adapter aux enseignements secondaire et supérieur ce que cette théorie (initialement élaborée à partir d'expérimentations effectuées dans l'enseignement primaire) nous avait permis de comprendre d'essentiel sur les phénomènes d'enseignement.

Enfin, pour conclure ce paragraphe sur les auteurs/inspireurs de ce texte, il faut absolument souligner que ce sont pour une bonne part les très nombreux collègues du secondaire et du supérieur (une cinquantaine au moins et plus spécialement Bernard, Marie-Thérèse, Martine, Daniel, Philippe, Chantal, Nicolas, Marie-Claire, Michèle, Serge,... Françoise,

Denise, Daniel, Jean-Luc, Michèle, Aline, Marc, Annie...) qui ont beaucoup apporté dans (ou de l'extérieur de) nos différents groupes de recherches autour de l'objectif « faire un peu mieux réfléchir les élèves/étudiants ».

Certains de ces collègues nous ont beaucoup éclairés par leur façon propre d'aborder ce problème de la construction du sens dans les enseignements scolaires et universitaires, par leur prise de distance et leurs critiques vis-à-vis de certaines de nos propositions, d'autres en participant activement à des expérimentations longues dans leurs classes ou dans des amphis.

Ce sont toutes ces recherches de terrain essentiellement menées au sein de groupes de l'IREM de Grenoble qui, depuis près d'une quarantaine d'années, sont à la base des analyses de situations de classe que nous vous proposons ici et des choix faits progressivement à propos du "débat scientifique".

Je pense sincèrement que c'est en grande partie grâce aux propositions de tous ces collègues, à leur participation aux expérimentations et à leurs critiques constructives, que nous avons pu réaliser aujourd'hui la synthèse que nous vous présentons ici.

Nous les remercions donc de leur apport dans la construction d'une théorie qui est initialement le fruit des très nombreuses expérimentations pratiques que nous avons effectuées ensemble et des débats que leurs analyses ont suscités.

Si nous ne les citons pas plus nominativement comme auteurs partiels de cette synthèse, c'est parce que nous ne leur avons pas soumis cette écriture qu'ils ont en partie inspirée sans pouvoir en critiquer la rédaction finale ; nous espérons néanmoins que notre cheminement rejoindra le leur et qu'ils se retrouveront ainsi en grande partie dans cette présentation d'une recherche commune autour de la construction du sens profond dans les enseignements.

Il va sans dire aussi que les élèves/étudiants qui ont souvent joué avec passion le jeu du « débat scientifique » dans nos classes et nos amphis sont eux aussi, ne serait-ce que par les scripts de leurs débats, les coauteurs de ce que nous écrivons ici.

Mais pour être sincère, disons surtout que c'est pour nous la constance de la très grande qualité de leurs propositions d'élèves/étudiants dans les différents débats auxquels ils ont participé (à tous les niveaux de la sixième à la préparation à l'agrégation) qui ***témoigne le plus fort qu'il y a bien une réalité didactique effective derrière notre propos théorique***, « *qu'il y a possibilité de trouver une réelle consistance épistémologique dans les propositions des élèves ou des étudiants de toute classe ou amphi ordinaire* ».

Ce sont eux qui ont prouvé expérimentalement que, sous certaines conditions, il y a possibilité pour des élèves/étudiants de débattre régulièrement de façon enrichissante et dans une certaine indépendance de pensée sur les savoirs d'un cours qu'ils sont en train d'étudier, ce sont eux qui ont montré qu'il ne s'agit pas là d'une entreprise didactique démagogique (contrairement à ce que déclarent abusivement certains collègues qui se donnent rarement la peine de faire l'essai), c'est en raison de ce constant témoignage qu'il nous est apparu nécessaire de théoriser nos pratiques pour que d'autres puissent, s'ils le souhaitent, s'emparer de ce formidable potentiel didactique qui existe dans toute classe et tout amphi.

b. La place et le rôle des répétitions dans notre présentation : un choix délicat

Même si nous sommes persuadés et crions haut et fort qu'il ne sert à rien de répéter cent fois la même chose dans l'espoir de se faire mieux comprendre, la forme même d'écriture que nous avons choisie où se mêle théorie et pratique, où nous faisons à la fois un effort pour objectiver, pour mettre à distance ce que nous vivons au quotidien, et où simultanément, pour éviter l'éloignement du réel qu'engendre l'effort théorique, nous émaillons sans cesse notre propos par la description de ce que nous vivons avec nos élèves/étudiants et par l'histoire de cette recherche, nous sommes souvent amenés à redire ce qui nous paraît essentiel plusieurs fois et de diverses façons.

Puisque l'échange par écrit ne permet pas d'exploiter la force du dialogue et du débat qui si souvent permettent d'aller au fond des choses et de lever les contradictions et malentendus au moment opportun, i.e. en intervenant spécifiquement à l'endroit qui fait problème, nous nous basons sur les échanges que nous avons in vivo avec des collègues pour anticiper les malentendus probables.

Notre écriture n'échappe pas de ce fait aux reprises et répétitions que certains pourront trouver pénibles : ***se voir marteler un certain « essentiel » peut beaucoup agacer, même et peut-être surtout, si on partage déjà ces idées.***

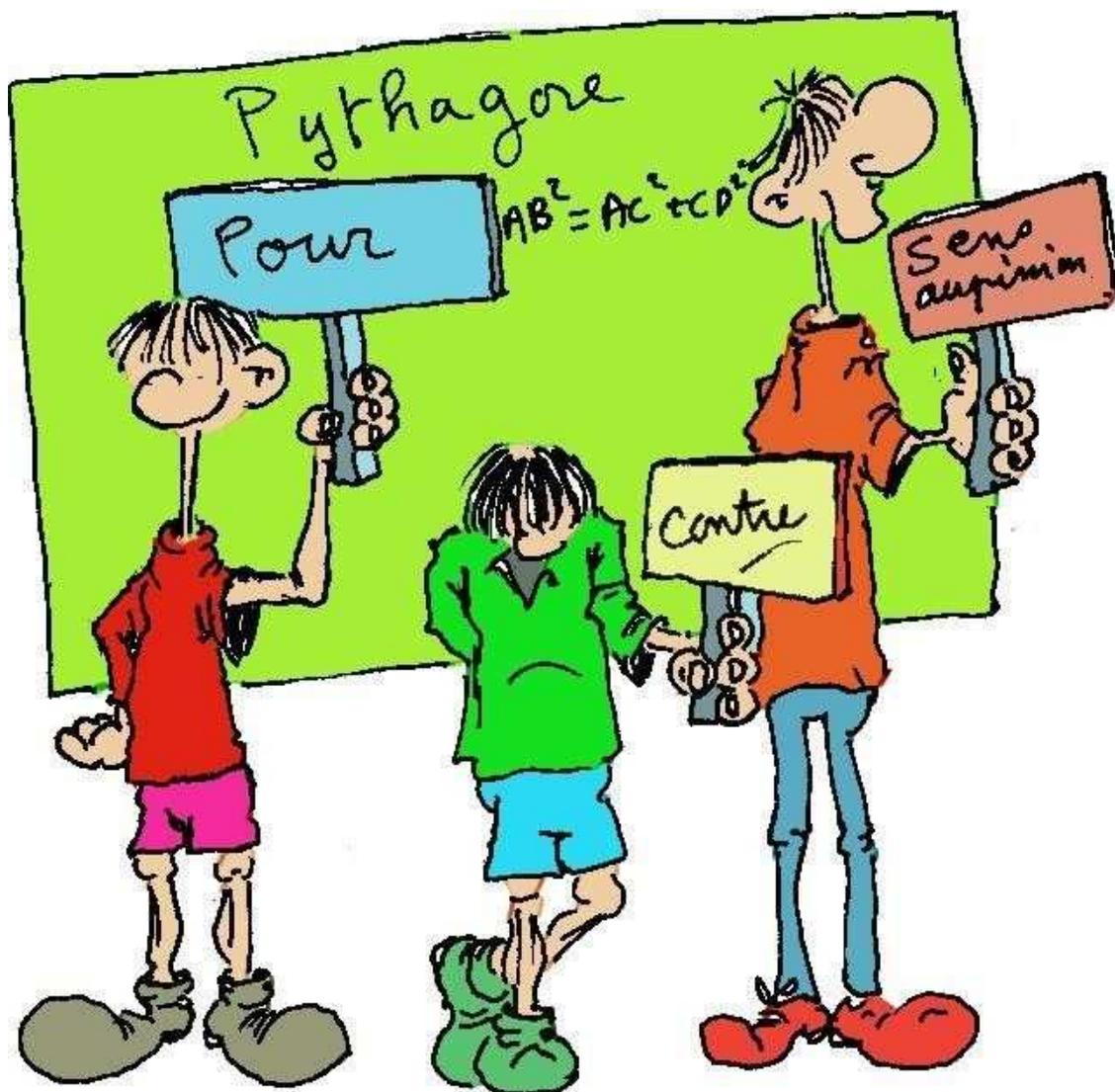
Pour limiter autant que faire se peut cet effet de répétition, nous avons cherché à traquer les redites en effectuant une n^{ième} relecture et nous avons adopté le principe suivant : si la reprise d'un thème n'apporte pas d'éclairage différent ou n'est pas indispensable pour situer le problème que l'on étudie ou la thèse que l'on soutient, supprimons-la sans regrets, mais si par contre, telle ou telle proposition faite auparavant s'impose comme un élément pertinent à prendre en compte ici, ou comme un élément qu'il faut nuancer par rapport aux présentations antérieures, n'ayons pas peur de reprendre ce qui a déjà été écrit ailleurs et de le re-développer de façon assez complète pour que le lecteur situe bien de quoi il s'agit sans être obligé de revenir trop en arrière.

En effet, vu la complexité de ce qui s'imbrique dans les différentes organisations didactiques que nous étudions, il nous a semblé qu'on ne peut attendre du lecteur qu'il garde constamment présent à l'esprit ce qu'on lui a finement décrit cent ou deux cents pages plus tôt, on peut même imaginer qu'il ne l'a pas lu, car certains pourront suivre l'ordre que nous proposons et d'autres non.

Ceux qui suivront l'ordre proposé auront une entrée très pragmatique au Tome I qui analyse la façon dont les choses se sont peu à peu mises en place, puis la théorie étant exposée au Tome II, ils regarderont ensuite comment elle s'applique au Tome III. Mais d'autres lecteurs préféreront probablement aborder directement les problèmes sur un plan plus théorique et d'autres sur le plan plus technique des mises en situations, et pour cette raison entre autres, nous avons choisi de redonner au moment voulu ce qui a été déjà présenté d'une certaine façon ailleurs dans une perspective donnée en réorientant/resserrant alors notre propos autour de la problématique du chapitre ou du paragraphe ou de la situation que nous traitons à ce moment.

Tout cela ne va pas, vous le presentez, sans une certaine lourdeur un peu répétitive dont nous nous excusons par avance; si quelques-uns parmi vous en souffrent fortement car ils envisagent clairement une solution plus légère et plus élégante qui permettrait de mieux partager une telle densité/complexité d'informations, nous les supplions bien humblement de nous faire quelques suggestions de réécriture, car nous avons eu beau tourner les choses dans

tous les sens, nous nous sommes heurtés là à une sorte de quadrature du cercle didactique auquel nous n'avons pas trouvé de solution qui nous satisfasse véritablement.



Première approche à partir d'un exemple

Pour préciser d'entrée de jeu ce que peut produire avec une assez grande régularité l'organisation de « débats scientifiques » dans un cours, réfléchissons au phénomène de perte d'intérêt et par suite bien souvent de perte de sens pour beaucoup d'élèves/étudiants aux moments délicats où le professeur reprend un savoir ancien pour en élargir la portée.

Très souvent se pose alors un double problème :

- *d'abord les élèves/étudiants reconnaissant les mêmes mots, les mêmes symboles, beaucoup pensent déjà savoir et, moins ils ont compris ce qui était essentiel dans le savoir ancien et moins il ont tendance à imaginer qu'il pourrait y avoir quelque chose d'intéressant et de franchement nouveau à rajouter*
- *ensuite, non seulement pour élargir la notion ou le concepts on doit s'appuyer sur ces savoirs anciens pas toujours bien maîtrisés mais aussi de façon paradoxale, on va devoir oublier en un certain sens, ce qu'on faisait et maîtrisait assez bien jusque là. Plus exactement, en abordant cet élargissement il va falloir identifier ce qu'on peut et doit garder des pratiques anciennes et ce qui n'est plus valide quand on élargit et qu'il va falloir remplacer par de nouvelles pratiques .*

D'une certaine façon donc, pour que l'étude soit intéressante et utile il va falloir que la classe ou l'amphi accepte de changer de questionnement et de modifier ses pratiques intellectuelles : dans le cadre restreint initial certaines questions étaient inutiles car il n'y avait pas de risque de confusion ni de vrais problème et précisément la difficulté vient du fait qu'en élargissant le champ d'investigation, des ambiguïtés apparaissent, des problèmes surgissent et les habitudes intellectuelles ancienne deviennent soit en grande parti inefficaces, soit même, par moment franchement trompeuses !

Le cas particulier du passage de la géométrie plane à la géométrie dans l'espace

Quand on veut faire un peu de géométrie déductive dans l'espace avec des élèves qui n'ont jusque là fait que des manipulations d'objets de l'espace, le professeur se doit absolument de commencer par définir ou redéfinir un certain nombre de notions de base comme le

parallélisme ou la perpendicularité, notions que les élèves connaissent donc déjà d'une certaine façon puisqu'ils les ont rencontrées et utilisées dans des démonstrations en géométrie plane.

Le professeur de la classe de seconde que nous observons ici pourrait bien entendu commencer sa leçon en (re)donnant magistralement ces définitions, mais comme il a remarqué à maintes reprises qu'il prêchait dans le désert à chaque fois qu'il reprécisait/redéfinissait une notion dont les élèves avaient déjà entendu parler et qu'ils croyaient donc bien connaître, **il adopte d'entrée de jeu la stratégie suivante : il demande aux élèves de proposer eux-mêmes des définitions qui prolongent à l'espace celles qu'ils connaissent en géométrie plane.**

L'attente de ce professeur est alors que les élèves proposent les définitions qui leur paraissent les plus évidentes (celles de la géométrie plane) et qu'en exploitant ces définitions insuffisantes dans des situations assez simples de l'espace le débat fasse apparaître leur caractère par trop simpliste.

Si cela fonctionne ainsi, on peut espérer que la classe dans son ensemble et non le professeur seul et quelques élèves isolés va « s'y mettre » et pourra alors entrer véritablement dans une problématique de l'espace en pointant ces insuffisances et en cherchant à rectifier ces définitions (non pour se conformer aux exigences tatillonnes du prof. de math, mais parce que ceux-là mêmes qui auront proposé ces définitions insuffisantes et/ou les auront approuvées, découvriront ainsi peu à peu qu'elles conduisent à trop d'incohérences si on veut les garder telles quelles quand on veut s'en servir pour travailler sur des configurations géométriques de l'espace même très élémentaires).

Dans la séquence de classe que nous allons observer maintenant, le professeur commence donc par faire une courte présentation de la géométrie dans l'espace dans laquelle il rappelle que pour travailler scientifiquement sur une réalité tangible comme l'est le monde physique qui nous entoure, il faut, comme on l'a déjà fait plusieurs fois, se situer résolument dans un modèle, i.e un monde imaginaire où l'on se donne des définitions et des principes précis afin de pouvoir se mettre d'accord sur les propositions qu'on fera ensuite.

A) Le script de cette séance d'introduction d'une problématique de géométrie dans l'espace

Le professeur demande aux élèves de cette classe de proposer des définitions satisfaisantes à leurs yeux de deux droites parallèles et de deux droites perpendiculaires dans l'espace.

Proposition d'un élève :

Définition : deux droites sont parallèles si elles ne se coupent pas.

Proposition d'un autre élève :

Définition : deux droites sont perpendiculaires si elles se coupent à angle droit.

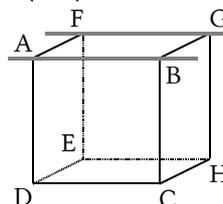
Le professeur (qui s'interdit absolument à ces moments cruciaux toute mimique et tout commentaire approuvateur/désapprouvateur qui indiquerait ce qui est pertinent/juste ou pas)

propose sans sourciller d'adopter ces définitions pour tester si certains couples de droites qu'il va soumettre à la classe sont parallèles ou pas, et si d'autres sont perpendiculaires ou non.

Il trace donc au tableau un cube ABCDEFGH et propose d'abord deux conjectures sur lesquelles les définitions proposées ne posent aucun problème de fond et par suite sur lesquelles la classe va pouvoir très vite se mettre d'accord

Conjecture 1 : « la droite (FG) est parallèle à la droite (AB) »

Le vote : Vrai : 28 Faux : 2 Autre : 1



Annah qui a voté Autre explique : « J'ai tendance à penser que c'est vrai, mais ça peut être un piège. »

Le professeur : « Tu dis donc que tu penses plutôt que c'est vrai, mais que comme tu me connais et que tu as déjà expérimenté mes conjectures, tu te méfies : ça peut être un piège! »

(Visiblement Annah est à cheval entre deux contrats, celui du « débat scientifique » et le contrat scolaire classique. Elle ne sait pas ce qui doit primer : « ce qu'elle pense être vrai » ou « la réponse supposée attendue par le professeur » ? Elle a néanmoins assez confiance en ce dernier pour oser dire franchement quel jeu elle joue car elle sait qu'il réagira probablement plus par l'humour qu'en moralisant. Par contre elle va se faire vertement « balayer » par Chloé qui semble sûre de son coup et veut elle, à juste titre, qu'une question aussi triviale soit tranchée rapidement. Une deuxième remarque faite plus tard par le professeur pour bien montrer qu'il « ne tend pas des pièges pour prendre ses élèves en défaut » mais « pose des conjectures dont certaines sont vraies et d'autres fausses pour pousser chacun à plus travailler en réflexion » vont apparemment convaincre Annah qui ne cherchera plus dans la suite de « pièges » et rentrera davantage dans la recherche de « la vérité ».)

Chloé qui a voté Vrai intervient vigoureusement avant même que le professeur donne la parole : « C'est un carré donc les côtés sont parallèles! »

Le professeur : « Tu parles de ABGF ? Tu dis que c'est un carré et donc que les côtés opposés sont parallèles. C'est ça ? »

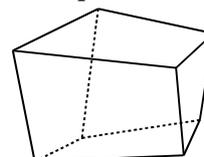
Chloé : « oui, c'est ça ! »

Azédine qui a voté Faux (avec sa voisine Alizé) : « Pour un cube, il suffit de 6 faces et 8 arêtes, et donc c'est pas forcément parallèle ou perpendiculaire »

Le professeur : « tu veux dire quoi ? »

Azédine : « eh bien le cube peut être tordu ou bien même en morceaux, c'est alors toujours un cube et les droites ne sont pas parallèles. »

Le professeur : « tu veux parler de ça : » et il dessine un « cube penché ».



Rumeur dans la classe : (« c'est pas un cube », ...)

Azédine : « oui et comme ça elles se coupent, donc elles ne sont pas parallèles. »

Marine : « ça c'est pas un cube, mais de toute façon, même comme ça elles ne se coupent pas ! »

Azédine : « *oui mais c'est des droites, alors on peut les prolonger !* »

Marine (qui a voté Vrai) : « *non, on peut pas les prolonger.* »

Melissa (qui a voté Vrai) : « *mais votre cube c'est vraiment celui-là, ou bien on peut changer les lettres de place ? Parce que sinon je vote Faux* »

(Nous sommes là typiquement au cœur d'incongruïtés auxquelles on ne pense pas a priori, alors que le « débat scientifique » montre qu'elles existent presque toujours dans une classe ou dans un amphi. En principe, tout le monde est persuadé que dans une classe de seconde les élèves savent ce qu'est un cube sans la moindre hésitation, et comme en plus ici le prof a dessiné un cube correct, on ne peut imaginer a priori qu'un seul élève ait en tête qu'un cube puisse être l'hexaèdre hétéroclite que le professeur a été amené à dessiner ensuite pour tenter de matérialiser la représentation du cube qu'Azédine semble avoir.

Le fait que le professeur ait accepté a priori - n'ait pas rejeté violemment - cette représentation erronée et le fait d'avoir proposé cette conjecture permettent juste à un tel anachronisme de se manifester au grand jour. Cela ralentit certes le déroulement du cours, mais laisse à penser aussi en contrepartie que si ce « bruit » ne s'était pas manifesté, n'avait pas été pris en compte, il pouvait interdire à tous ceux qui pensaient à quelque chose d'analogue de continuer à suivre en rationalité ce qui est proposé par le professeur ou par des pairs.

Comme toujours dans ce cas - vu le côté extravagant de la proposition - la classe proteste avec vigueur, le professeur laisse un peu la colère monter pour indiquer à tous qu'il va falloir remettre les pendules à l'heure et se donner une définition/convention commune car on ne peut débattre scientifiquement à partir d'un tel malentendu sur l'objet élémentaire cube, mais comme ce n'est pas le point essentiel sur lequel il veut faire travailler la classe, le professeur ne laisse pas le débat se poursuivre davantage sur ce point; il l'arrête donc en utilisant son autorité magistrale pour déclarer le point de vue qu'il convient d'adopter pour poursuivre - par le ton qu'il adopte il fait comprendre que sauf objection très motivée d'un élève il n'y a plus lieu de débattre ici sur ce point précis. Le professeur tranche donc sans demander aux élèves leur avis sur ce point car s'il estime que ce premier débat a été utile pour lever un malentendu, il pense également que le laisser se poursuivre n'apporterait probablement rien de plus sur le fond et entraînerait une certaine lassitude de la part de ceux qui ont compris que le problème n'était pas là; laisser poursuivre le débat sur ce point précis serait donc probablement nuisible¹⁰ à la compréhension commune et à la dynamique de la classe).

Le professeur intervient donc et explique qu'il faut se mettre d'accord sur les bases de la discussion : « qu'est-ce qu'un cube? de quel cube parle-t-on? qu'est-ce qu'une droite dans l'espace ? Il écrit donc magistralement :

Un cube est un solide fait de 6 faces carrées.

Le cube dont on parle s'appelle ABCDEFGH et les lettres sont exactement comme sur le dessin.

Une droite dans l'espace est comme une droite du plan, elle est infinie.

Azédine et Alizé qui avaient voté Faux disent alors changer d'avis, et Annah maintient son vote Autre à cause de l'éventuel piège.

Pour bien marquer que le débat ne doit plus porter sur ce malentendu, le professeur conclut lui-même (ce qu'il s'interdirait de faire si le débat portait sur des contradictions de type logique) : « *Ces deux droites sont bien, en effet, parallèles et cela a été parfaitement expliqué dans le débat : la face ABGF est un carré, et dans un carré les côtés opposés sont bien parallèles. On peut remarquer ici que pour savoir si les deux droites sont parallèles on utilise la face ABGF et finalement on se met dans un plan, et cela nous permet de répondre à la question en faisant de la géométrie plane.* »

Le professeur ajoute : « *Annah tu as eu raison de douter, c'est vrai que souvent les évidences immédiates sont apparues après comme trompeuses. Tu exprimes le doute que nous*

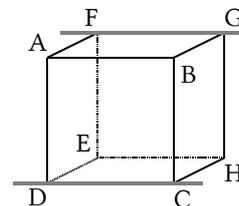
¹⁰ Mais là on n'est sûr de rien car certains débats sur de telles extravagances débouchent parfois sur des considérations aussi intéressantes qu'inattendues !

avons tous un peu quand nous devons décider du vrai et du faux, mais ici tu vois, les droites ne sont pas parallèles parce que M. Lecorre l'a affirmé mais seulement parce qu'elles sont les côtés opposés d'un carré. »

Nouvelle conjecture :

C2 : « la droite (FG) est parallèle à la droite (DC) »

Le vote : Vrai : 31 Faux : 0 Autre : 0



Gregory : « On sait que (AB) est parallèle à (DC) et pour la même raison dans le carré ABCD, (AB) est parallèle à (DC) donc (FG) est parallèle à la droite (DC). »

Le professeur reprend l'argument et demande si tout le monde est d'accord. Unanimité dans la classe.

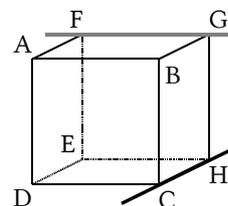
(Le professeur ne fait pas remarquer que la transitivité utilisée ici, qui est une propriété vraie du plan, pourrait ne pas demeurer valide dans l'espace : il fait comme si c'était effectivement évident, et se réserve de revenir plus tard sur ce type de « généralisation potentiellement abusive ». Le « plus tard » signifie : une fois précisément que les élèves auront rencontré de plein fouet des propriétés du plan qui ne se généralisent pas du tout à l'espace.)

Ce professeur ne reprend pas ce point néanmoins important en bonne logique car il estime qu'il s'agit là d'un apprentissage méta qui aura beaucoup plus de chances d'être intériorisé par ses élèves si ce sont des expériences malheureuses qui leur montrent la nécessité de s'assurer que la généralisation est licite, plutôt que s'il réitère à chaque instant des conseils de précaution, conseils vite considérés par les élèves comme un tatillonnage/marotte de prof de mathématiques. (On se souvient de l'anecdote de l'introduction du livre « je vous fais le calcul court ou normal ? ».)

Après ce très court débat donc, le professeur propose la troisième conjecture :

C3 : « la droite (FG) est parallèle à la droite (HC) »

Le vote : Vrai : 4 Faux : 18 Autre : 9



Comme il y a un « vrai » problème, le débat s'engage véritablement :

Jonathan qui a voté Vrai déclare : « Les droites (FG) et (HC) ne sont pas dans le même plan, elles ne se coupent pas, donc d'après la définition elles sont parallèles. »

Tom qui a voté Autre dit : « Je suis d'accord mais pour moi elles sont aussi perpendiculaires si on les superpose. »

Chloé qui a voté Faux déclare : « (FG) est perpendiculaire à (GB) et (GB) est parallèle à (HC), donc (FG) est perpendiculaire à (HC) et donc elles ne sont pas parallèles. »

(Tout comme dans le cas de la transitivité du parallélisme, comme personne ne conteste ce raisonnement de Chloé, le professeur ne force pas la discussion sur cet argument valide dans le plan bien qu'il soit litigieux dans l'espace, car il sait qu'un argument aussi faux fera nécessairement surface plus tard à un moment où la situation permettra peut-être à certains élèves de percevoir que ce raisonnement juste du plan n'est plus valide dans l'espace. Et ce sera alors ces élèves et non le professeur qui contesteront cette généralisation abusive, ce qui va progressivement permettre à la classe de s'investir d'une réelle responsabilité scientifique sur ce qui est vrai /faux, pertinent ou non.)

On voit que contrairement à un cours classique où le professeur s'oblige à mettre tout de suite de l'ordre dans les propositions - les déclarer vraies /fausses, pertinentes ou non, etc. - au fur et à mesure qu'elles s'énoncent, ici le professeur laisse un certain nombre de propositions en jachère, même lorsqu'elles sont fortement erronées, afin soit de les faire ressurgir lui-même au moment où leur fausseté sera le plus éloquente pour la classe/amphi, soit pour bien montrer à la classe, à l'amphi que chacun doit en permanence exercer sa responsabilité scientifique, doit faire preuve de vigilance épistémologique, i.e. se poser la question : « ce qui est proposé ici et semble intéressant/utile, est-ce vrai ou faux, pertinent ou non, abusif ou pas, etc. etc. ? »)

Marine qui a voté Faux soutient : « *Il y en a une qui est horizontale et l'autre verticale, elles ne sont donc pas parallèles.* »

Gregory qui a voté Vrai pointe le fond du problème : « *le problème, c'est que la définition n'est pas commode.* »

Azédine qui a voté Vrai explicite le « pas commode » : « *Si on les met dans le même plan, alors c'est faux mais avec la définition, c'est vrai.* »

Le professeur estime à cet instant que le débat a pour le moment joué son rôle essentiel : faire prendre conscience à l'ensemble de la classe que la définition des parallèles du plan ne suffit pas pour traduire ce qu'on veut désigner par le mot « parallèle » quand on est dans l'espace.

Il conclut alors : « *Le problème avec cette conjecture, c'est que si on suit la définition de parallèles qu'on s'est donnée, alors on est bien obligé d'admettre que ces deux droites sont parallèles puisqu'elles ne se coupent pas. Du point de vue strictement logique ceux qui ont voté Vrai ont raison. Mais en même temps admettre que deux droites, dont l'une est verticale et l'autre horizontale, sont parallèles, ce n'est franchement « pas commode » comme le dit Gregory car ce n'est pas du tout notre perception du parallélisme. Et ceux qui votent Faux ont là une bonne raison de voter Faux. Mais cette raison n'est pas celle des règles de la logique que l'on s'est données. Enfin ceux qui ont voté Autre sont exactement entre ces deux propositions : ils ne peuvent pas se résoudre à dire la conjecture vraie, car ici leur idée du parallélisme est trop mise en défaut, ils ne peuvent pas non plus se résoudre à la déclarer fausse, parce qu'elle correspond à la définition.* »

Le professeur insiste alors avec emphase : « *Chacun voit bien donc que selon les règles de la logique, la conjecture est vraie, mais en même temps qu'il est insupportable de déclarer ces deux droites parallèles!* »

Puis il dramatise avec humour :

« *Comment résoudre ce dilemme ? ? ?* »

Réponse spontanée de beaucoup d'élèves : « *on change la définition !* »

Le professeur en guise d'acquiescement demande à la classe de faire une nouvelle proposition de définition du parallélisme.

Proposition de définition n°2 d'un élève : « *Deux droites sont parallèles si leurs vecteurs directeurs sont colinéaires.* »

Le professeur : « *Avec cette nouvelle définition, que pensez-vous de la conjecture C3 ?* »

.....

et le cours se poursuit sur cette lancée !

- Fin de description et analyse de ce script -

B) Questions cruciales (pour nous, observateurs de cette séquence de classe)

1) Tous les élèves de cette classe ont-ils compris le fond du problème ?

Il est toujours très dangereux de répondre par l'affirmative avec certitude à une telle question mais, au vu de cet extrait de débat, il apparaît bien que ce groupe classe est en train de se mettre sur la bonne longueur d'ondes, il semble qu'on peut raisonnablement faire le pari que beaucoup d'élèves partagent déjà assez bien la problématique du professeur.

Si nous ne nous trompons pas trop dans notre analyse, ce qui se vérifiera par la suite lorsque d'autres indices montreront que les conceptions initiales trop naïves de parallèles ou de perpendiculaires ont pratiquement disparu (par exemple quand elles refont surface dans les propos de certains élèves - les conceptions erronées ne s'éradiquent pas d'un coup, elles refont toujours surface pendant un certain temps - elles sont tout de suite assez spontanément critiquées à bon escient par d'autres élèves), nous considérons que le « débat scientifique » a joué ici l'essentiel de son rôle, en ce sens que son coût (en particulier en terme de temps et d'investissement - en terme de fatigue aussi) n'est pas déraisonnable mais au contraire tout à fait justifié vu ce qu'il produit.

Ce coût est à notre avis totalement justifié ici s'il permet à beaucoup d'élèves de ne pas se désinvestir très rapidement de la situation, de ne pas abandonner très vite toute envie de faire les efforts de réflexion indispensables pour arriver à prouver proprement en géométrie dans l'espace, même lorsqu'il s'agit de résultats en apparence très élémentaires.

Nous savons bien que les élèves se désintéressent très souvent de ce sujet parce qu'ils ne perçoivent pas du tout que dans l'espace ce qui est vrai/faux est plus complexe à prouver : ce qui se voit est plus incertain, se décrit et se prouve beaucoup moins facilement que dans le plan. Ils ont souvent le sentiment que dans l'espace le seul problème est de « voir ou ne pas voir »!

Une fois qu'ils « voient », il leur semble qu'il n'y a plus d'enjeu démonstratif, il n'y a plus de vrais défis à affronter, ils ont alors souvent l'impression qu'il y a seulement un professeur qui ergote et complique à plaisir quand il leur demande/fournit mille précisions sur des principes apparemment aussi simples et connus de tous depuis longtemps que le sont le parallélisme ou la perpendicularité.

Telle est une des raisons qui nous a incités à vous présenter en introduction cet extrait de débat dont les enjeux peuvent apparaître bien dérisoires : « tout ça pour préciser que la définition du parallélisme dans l'espace est moins évidente qu'on ne le pense a priori! ».

Si on n'a fait que cela...! c'est effectivement... un peu dérisoire! Mais si, par contre, on (l'ensemble de la classe) a résolument amorcé l'entrée dans la problématique de l'espace, « ce n'est pas rien ! » de notre point de vue, et si de plus tout cela est l'occasion de s'initier aux méthodes de la démarche scientifique et/ou de les approfondir, cela devient même très conséquent !

Nous avons également décidé de mettre un tel scénario en exergue dans cette introduction parce que, lorsque dans notre groupe de recherche nous nous questionnons sur ce qui nous paraît le plus stable, le plus déterminant dans notre pratique régulière du

« **débat scientifique** », quand, pour pousser le trait, nous cherchons à dégager ce qui à lui seul justifierait qu'on continue à s'embarquer dans une telle aventure, ce qui ressort presque toujours en première place de ce questionnement, **c'est finalement la répétition du triple constat suivant :**

a) La pratique régulière d'une forme de débat nous offre à nous, professeurs, un outil chaque année un peu plus performant pour **débusquer rapidement la nature et l'ampleur des malentendus** souvent très importants qui s'installent inévitablement avec une bonne partie de la classe ou de l'amphi sur le sens profond de ce qu'on croit enseigner, et ce même lorsqu'on est persuadé avoir été très clair et très explicite pour éviter tous les pièges sur lesquels nos élèves/étudiants avaient buté les années précédentes.

Nous avons donc le sentiment de disposer là d'un moyen efficace pour pouvoir avancer dans l'exposé d'une théorie en cours sans être trop aveugle au niveau de la compréhension réelle de nos interlocuteurs, et même d'en avoir une vision assez objective.

b) Comme ces débats introductifs nous permettent de prendre conscience d'un possible décalage de sens profond avant que l'on ne soit allé trop loin dans l'avancée du cours, **il nous est souvent possible à ce stade de problématiser positivement ce qui dysfonctionne** (ce qui est en jeu au niveau de la perte de sens est encore assez nouveau pour le groupe classe ou amphi pour qu'on puisse en discuter librement sans que d'un côté certains s'ennuient car ils ont bien compris, et que d'autres aient à supporter la crainte de dire d'énormes bêtises devant les autres et la honte de montrer qu'ils n'ont pas encore compris ce que certains trouvent maintenant évident).

Quand on est au début d'une étude, « on a le droit de se tromper! », on ne se sent pas coupable de ne pas savoir ce qu'on devra bien maîtriser dans quelque temps !

Ce dernier aspect est essentiel pour libérer une parole d'élève qui soit spontanée, authentique et sincère.

c) La mise en débat des avis divergents produit alors assez souvent le petit miracle de la transformation de ce qui pouvait devenir un « drame » pour beaucoup en un moment de vrai bonheur collectif¹¹.

Le débat permet souvent que pendant un moment au moins, sur un sujet précis important, tous partagent sans faux-semblants une même problématique et une problématique réellement scientifique.

Après plusieurs années de pratique nous avons acquis la conviction que lorsqu'il s'agit d'aborder résolument un sujet conceptuellement délicat pour la majorité de nos élèves ou nos étudiants, nous limitons énormément le risque de nous retrouver seuls au bout d'un certain temps en train de brandir désespérément nos définitions, nos axiomes et nos démonstrations subtiles si, dès le départ de l'étude, nous avons su faire intervenir ces objets abstraits (initialement très formels pour les élèves) dans des débats où ils se concrétisent peu à peu parce

11 C'est un vrai drame pour un élève/étudiant que de sentir qu'il s'enfoncé dans une incompréhension profonde et durable de l'essentiel qui va probablement stériliser le sens global de toute l'étude et le couper définitivement du groupe de celles et de ceux qui ont l'air de suivre, c'est par contre un grand bonheur individuel et collectif quand un groupe de pairs arrive pendant un temps au moins à communier à une même idée.

que chacun peut les manipuler à sa façon : en les déformant en partie par des usages abusifs, puis en rectifiant les déformations qui produisent des contradictions, l'élève démonte ainsi quelques rouages de ces objets initialement très extérieurs à lui, peu à peu il se les approprie, il va alors pouvoir les faire intervenir à bon escient de son propre chef (et non sur commande : « *en utilisant le théorème X montrez que ...!* »), voire dans certains cas, les transformer un peu pour les adapter à une situation où ils ne s'appliquent pas directement.

Il en va des concepts et des théories un peu comme des objets manufacturés complexes : si on vous les livre « prêts à l'emploi » avec une fiche d'utilisation très directive, tant que tout marche comme convenu, pas de problème, mais dès qu'un petit pépin arrive, on est très vite désarçonné car si on sait à peu près ce que ces appareils font, on ne sait pas du tout, par contre, comment ils le font. De ce fait on n'ose pas y toucher pour les re-régler s'ils sont décalés ou les remettre en marche s'ils se sont inopinément arrêtés. C'est ainsi que beaucoup d'adultes, non entraînés à aller voir « ce qu'il y a derrière » vont aujourd'hui jusqu'à jeter ces objets à la première défaillance, même s'ils sont très coûteux, sans même dévisser le moindre couvercle pour voir si ce n'est pas tout simplement une sécurité qui s'est déclenchée. Si ces personnes avaient eu la possibilité de bricoler un peu ces objets au départ pour en faire une visite sommaire ou s'ils en avaient bricolé d'analogues, ils oseraient les re-visiter en cas de défaillance et alors, trois fois sur quatre, ils se rendraient compte que c'est un petit rien qui bloque tout et que ce petit rien ils peuvent le réparer/remplacer eux-mêmes très simplement !

C'est ce « bricolage » autour des concepts de parallélisme/perpendicularité dans l'espace qui semble bien s'opérer ici.

2) Est-ce bien raisonnable de passer autant de temps à « bricoler ainsi les définitions » ?

Comme cet outil didactique « débat sur les définitions possibles des objets de base d'une théorie » révèle assez crûment ce que les élèves pensent réellement à des moments cruciaux de l'étude, nous constatons que *ce dispositif nous interdit de fait d'aller aussi vite qu'avant* puisqu'il nous indique au fur et à mesure qu'on pose les bases d'une théorie, les obstacles que nos interlocuteurs doivent dépasser pour pouvoir continuer à nous suivre.

La question cruciale est alors : ***n'adoptons-nous pas là une pédagogie suicidaire car abusivement chronophage ?***

On va beaucoup plus lentement c'est indéniable, mais **paradoxalement il nous apparaît à l'usage que cette didactique est assez économique au niveau du bilan global.**

En effet, lever les malentendus au moment où ils se forment expose beaucoup moins la classe ou l'amphi à **devoir découvrir subitement** de façon assez dramatique, car irréversible (par exemple, lorsqu'on aborde un sujet différent mais qui nécessite la compréhension profonde de ce qu'on a fait auparavant, ou le jour de l'examen final) **qu'en fait** pour une bonne part du groupe classe ou amphi, voire pour la totalité, **les explications de fond du professeur tournent à vide depuis bien longtemps**, et ce contrairement à ce que les contrôles continus avaient éventuellement pu révéler de positif.

Ce dernier paradoxe (par exemple « bons résultats aux contrôles partiels et échec à l'examen final », très fréquent à l'université dans les enseignements longs) s'explique en partie par le fait suivant : pour ne pas être trop décourageants, les contrôles effectués au fur et à mesure de l'avancée de l'étude doivent pouvoir être réussis par ceux qui travaillent et jouent le jeu de l'enseignement tel qu'il est proposé; ils sont donc souvent trompeurs au niveau de ce

qu'ils laissent croire en terme d'appropriation du sens profond dans la mesure où les questions portent essentiellement sur ce qu'on vient de faire et sont posées de façon à susciter des réponses assez convenables pour qui travaille son cours et applique consciencieusement ce qu'on vient de lui dire. Mais précisément, ce type de contrôle ***ne révèle pas clairement comment l'élève/étudiant fait ou non des liens avec d'autres savoirs***, car ils ne sont pas faits pour montrer cela : dans une didactique classique on pense que ces liens essentiels à la construction du sens profond s'effectueront d'eux-mêmes progressivement, à l'usage, en appliquant la théorie, et on constate régulièrement que ces liens qui interviennent beaucoup plus naturellement dans une épreuve terminale où l'on réclame à l'étudiant de faire une sorte de synthèse de ce qui a été vu chapitre après chapitre, n'ont pas été construits par la très grande majorité de ceux qui ont néanmoins suivi, travaillé, localement compris et réussi régulièrement aux épreuves partielles.

Il est clair qu'en organisant des enseignements de plus en plus courts - découpage en petits modules - on supprime ce type de paradoxe. On augmente donc ainsi les taux de « réussite » car l'examen final étant plus proche du partiel, il fait moins ressortir les échecs sur la compréhension de fond, mais il est certain aussi que sans s'attaquer aux causes, on ne supprime pas ainsi les pertes de sens, on aurait au contraire tendance à les renforcer un peu plus en les rendant de plus en plus invisibles et impossible à localiser.

A l'opposé nous observons que le « débat scientifique » force le plus souvent les élèves/étudiants à exhiber d'entrée de jeu les liens qu'ils font spontanément ou non avec d'autres connaissances (c'est ce qui se passe dans le script précédent où les élèves sont amenés à mettre en lien ce qui est vrai/faux dans le plan et dans l'espace).

Quand le contrat du débat fonctionne, la classe/l'amphi se comporte alors davantage en communauté scientifique qu'en communauté scolaire : *les élèves/étudiants mettent alors plus spontanément au grand jour ce qui est douteux, voire très probablement en grande partie erroné (pour en avoir le cœur net), alors qu'ils ont tendance à cacher ce qui est contraire ou incertain dès qu'ils se sentent davantage redevenir des élèves sous le regard d'un maître ; en particulier ils ont tendance à faire totalement disparaître toute conviction personnelle qui ne leur semble pas assez orthodoxe (par ex. falsification du résultat d'un calcul qu'ils viennent d'effectuer s'ils constatent qu'il ne correspond pas à la réponse demandée) quand ils se savent évalués.*

Par moments donc, quand ce nouveau contrat didactique fonctionne, le professeur sent ses cheveux se dresser sur la tête au cours du débat tant les rapprochements que certains de ses interlocuteurs font abusivement sont inappropriés et révèlent des incompréhensions insoupçonnables à ce niveau d'études (certaines de ces incompréhensions de fond, y compris en préparation à l'agrégation, concernent des sujets que ces élèves/étudiants « connaissent » de longue date, sur lesquels ils « travaillent » depuis des années et qui devraient être pour eux du type « 2 et 2 font 4 », nous en donnerons de nombreux exemples au fil des chapitres).

Le professeur a alors du mal à cacher sa surprise, mais nous savons maintenant (nous avons maintes fois constaté) qu'il doit en réalité se réjouir de ce qui arrive, car le fait que le pavé ait été lancé dans la mare et que « cela ait éclaboussé » beaucoup de personnes (l'incompréhension n'est « jamais » celle d'un seul élève) va lui permettre de poser le problème sur la table pour qu'enfin on puisse commencer à le traiter sur le fond au lieu de continuer à le nier en ne corrigeant que les erreurs de surface (sans prendre la peine de mettre en évidence la source de ces erreurs).

Il faut bien voir que dans un enseignement plus classique (où les débats quand ils ont lieu sont beaucoup plus courts et sont plus des dialogues maître-élèves que de véritables débats sur le savoir entre pairs) on va beaucoup plus vite (en apparence) et on peut traiter beaucoup de sujets (en apparence) pendant une heure de cours ou de travaux dirigés parce qu'en réalité **on a fait une double économie de temps** dans la mise en évidence des méconnaissances, des pertes de sens, des contresens des élèves/étudiants (**fausses « économies »** car, à notre avis, elles finissent toujours par « coûter très cher ! » mais ...à terme) :

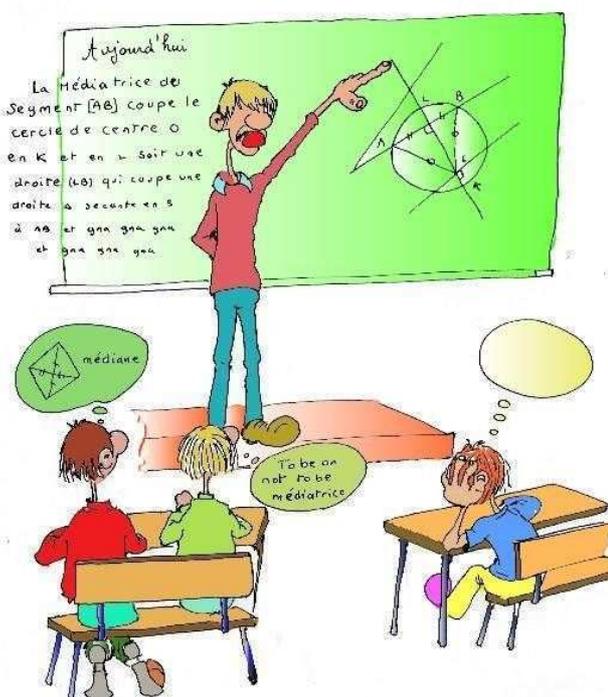
- **La première (fausse) économie** consiste pour le professeur à interroger les élèves de façon très directive pour évaluer ce qu'ils savent/ignorent, ont compris ou non sur des sujets très cernés ; ce dispositif pédagogique est évidemment beaucoup plus simple et demande un moins grand investissement en temps et en énergie que celui qui consiste à les interroger indirectement en les laissant errer un peu autour d'une question vague afin qu'ils révèlent peu à peu où ils en sont sur le fond par la manière dont ils proposent des thèses plus ou moins adaptées et/ou les défendent de façon plus ou moins adroite.

- Nos expérimentations nous montrent que cette première « économie » ne permet pas en général que se révèlent au grand jour les nonsens et les contresens les plus prégnants et les plus largement partagés dans la classe ou dans l'amphi, car par ce questionnement direct l'élève ne s'interroge pas sur ce qu'il pense véritablement, mais sur ce qu'il pense devoir penser (alors que dans un réel débat scientifique entre pairs l'élève ne récite plus, il est moins tenté de tricher avec ses convictions intimes, il essaye au contraire de formuler ce qu'il pense intimement être pertinent/vrai).

- **La seconde (fausse) économie** vient alors du fait qu'en ignorant en grande partie ce qui empêche le plus ses interlocuteurs de comprendre sur le fond, **le professeur peut avancer beaucoup plus vite dans son cours, mais de ce fait il avance souvent... seul !**

En effet, s'il sait tenir sa classe ou son amphi, le professeur n'est arrêté par ses élèves/étudiants que si formellement ce qu'il leur propose devient irrecevable (pour éviter ces blocages complets, quand le sujet est trop délicat, il détaille beaucoup l'exposé technique de la théorie et il multiplie les exercices d'application et les problèmes-types afin que, **cette partie du cours étant comprise ou non sur le fond**, une proportion raisonnable d'élèves/étudiants arrive de toutes les façons à traiter honorablement les questions d'examen et de concours classiques s'y rapportant).

Ce que nous tirons de diverses expérimentations que nous avons faites à ce sujet, expérimentations au cours desquelles nous avons introduit des doses de « débat » plus ou



moins importantes sur quelques points cruciaux du programme, c'est qu'en faisant l'économie de ces « débats scientifiques » révélateurs de sens et de contresens, mais chronophages et énergivores, nous avons toujours gagné effectivement beaucoup de temps et d'énergies au jour le jour sur chaque chapitre traité de façon plus classique mais... **le plus souvent ce gain journalier et local s'est avéré être un leurre globalement.**

En effet, nous étant privés de cet outil d'objectivation du sens que représentaient ces « débats de mise en place des objets théoriques de base », *nous n'avons pu alors éviter que pendant de longues périodes et sur l'étude de savoirs importants, une grande partie, voire la totalité de nos élèves ou de nos étudiants soient plongés dans un certain vide de sens et que les malentendus s'accumulent.*

Le plus souvent, le jour où nous nous sommes redonné les moyens d'ouvrir les yeux, l'étendue et la profondeur des dégâts que nous avons dû constater étaient telles qu'il nous était pratiquement impossible de revenir en arrière pour pouvoir rectifier le tir : pour bien faire il aurait fallu tout reprendre au début, ce qui est impossible en pratique quand on est déjà trop avancé dans le programme (on ne peut guère faire autre chose « pour sauver les meubles » dans ce cas que de donner quelques recommandations, règles et recettes en espérant sans trop y croire qu'ainsi tout ne sera pas perdu !).

Pour conclure cette introduction

Voilà donc en résumé quelques-uns des apports spécifiques du « débat scientifique » accompagnés des questions/difficultés que ce mode didactique suscite. Nous avons choisi de les mettre en introduction parce qu'ils font partie de ceux qui se sont le plus régulièrement avérés au cours de toutes nos années de recherche et de mise en pratique.

Ces apports peuvent sembler bien modestes au vu des prétentions souvent pharaoniques des intitulés de nos programmes, mais précisément, si on voit d'entrée de jeu que ce procédé didactique s'accommode mal de programmes souvent quantitativement démesurés, on voit simultanément qu'il permet néanmoins d'aborder franchement la complexité du conceptuel et du théorique qui se trouve au cœur de ces programmes et de le faire avec l'ensemble de la classe ou de l'amphi et non avec quelques élèves/étudiants d'exception.

On aborde alors ces programmes en respectant beaucoup plus que cela ne se fait généralement l'esprit des commentaires de programmes qui défendent le plus souvent ce que nous mettons ici en priorité (développer la créativité, la rigueur, l'esprit critique, initier à une démarche scientifique...), commentaires auxquels tout le monde adhère en principe, mais qui restent le plus souvent un ensemble de vœux pieux faute de pouvoir trouver la place et les énergies nécessaires quand la priorité est donnée à la présentation exhaustive de toutes les rubriques du programme et à la répétition de tâches très circonscrites.

Nous pensons donc que ces modestes apports du « débat scientifique » dans une classe ou un amphi sont néanmoins très substantiels.

Parmi ces modestes apports du « débat scientifique » il y a en particulier celui de redonner constamment au professeur des raisons objectives de garder l'ambition utopique mais raisonnable de partager le sens profond des savoirs avec un grand nombre d'élèves/étudiants :

au cours d'un « débat » le professeur oscille souvent entre deux états extrêmes, d'un côté, à certains moments, il reçoit de plein fouet des propositions qui témoignent d'un vide de sens, de non sens et de contresens insoupçonnés qui le pousseraient au désespoir, mais l'instant d'après, il reçoit des preuves tangibles que ses interlocuteurs ne sont pas désabusés ou idiots, qu'ils peuvent se sentir concernés par la complexité et être capables de s'investir très honorablement dans des démarches théoriques et conceptuelles, et alors il ne regrette pas de les avoir embarqués dans cette quête de sens.

En définitive le projet de notre écriture est le suivant:

Pour nous, il s'agit ici de mettre à votre disposition suffisamment d'éléments pertinents sur le « débat scientifique dans un cours » pour que vous puissiez situer ce dont il s'agit sur le fond, repérer ce qui est essentiel et les limites de ce procédé didactique.

Cela devrait vous permettre de l'adopter ou au contraire de l'écarter à bon escient et en connaissance de cause dans vos propres enseignements, dans la mesure où vous trouvez là un outil susceptible de donner une effectivité à un certain idéal humaniste et démocratique de l'école.

Il nous semble également important qu'avant de vous lancer dans une telle aventure si tel était votre choix, vous puissiez *distinguer parmi les nombreux aspects techniques de ce principe ceux qui sont en un sens incontournables pour transformer les intentions en actes (ceux qui garantissent une écologie suffisante pour que l'utopie devienne réalité) de ceux que chacun peut par contre très probablement modifier, supprimer ou rajouter à sa convenance si cela lui correspond mieux.*

Sommaire

Avant-propos	<u>8</u>
Première approche à partir d'un exemple.....	<u>29</u>
Pour conclure cette introduction	<u>40</u>
Partie I : Finalités et origines du « Débat Scientifique » dans un enseignement.....	<u>45</u>
Chapitre 1 : Fonction et place de ces « débats sur les savoirs du cours ».....	<u>46</u>
I) Affrontement du paradoxe caché de l'école	<u>46</u>
II) Place des « débats » dans l'ensemble du cours.....	<u>55</u>
III) Quel type d'éducation laïque et républicaine le débat scientifique a-t-il vocation à prendre en charge prioritairement ?.....	<u>58</u>
IV) Quels obstacles à la réalisation de ce projet ambitieux ?.....	<u>63</u>
Chapitre 2 : Genèse de ce principe.....	<u>68</u>
I) Quatre étapes – quatre origines – quatre rencontres déterminantes.....	<u>68</u>
II) Évolution de nos recherches au cours de ces trente dernières années.....	<u>114</u>
Chapitre 3 : Fondement épistémologique et cognitif de ce principe didactique.....	<u>122</u>
I) L'épistémologie ou quelles démarches intellectuelles viser ?.....	<u>123</u>
II) Le cognitif ou les deux logiques complémentaires d'accès au sens profond des savoirs complexes	<u>140</u>
III) Le didactique ou les deux contrats ou postures didactiques opposés et complémentaires pour respecter ces deux logiques	<u>142</u>
Partie II : Nécessité épistémologique et didactique du « débat scientifique » dans un enseignement.....	<u>155</u>
Chapitre 1 : Présentation de huit situations alarmantes	<u>160</u>
Chapitre 2 : Les huit situations	<u>168</u>
Chapitre 3 : Réactions à partir de ces exemples.....	<u>249</u>
Partie III : Nécessité sociale et éthique d'une forme de « débat scientifique » dans un enseignement.....	<u>261</u>
Chapitre 1 : « Nécessité du débat en cours », en quel sens ?.....	<u>262</u>
I) Les objections fondées les plus fréquentes	<u>262</u>
II) Nos raisons essentielles de ne pas céder à l'appel de ces objections fondées.....	<u>265</u>
III) Une question cruciale.....	<u>272</u>
Chapitre 2 : L'aveuglement de l'école sur le problème du sens	<u>281</u>
I) Un jeu subtil de cache-cache avec le sens	<u>282</u>
II) De la dénonciation de ce jeu à... une tentative d'explication	<u>284</u>
III) Un endroit où il est aisé de percevoir comment se construit cette cécité de l'école sur le problème du sens : l'évaluation des connaissances	<u>290</u>
IV) En réalité, même s'il ne nous pousse pas à la révolte, ce problème du sens ne nous échappe pas totalement !.....	<u>296</u>
V) Nécessité de revisiter l'école dans laquelle nous enseignons aujourd'hui.....	<u>300</u>

Chapitre 3 : Trois postulats didactiques pour lutter contre cet aveuglement à propos de la construction du sens à l'école	304
Chapitre 4 : Deux modèles d'école laïque, démocratique et républicaine : celui d'une école normative et celui d'une école formative	314
Chapitre 5 : Adéquation des contraintes de programmes aux objectifs démocratiques et républicains de l'école.....	337
Chapitre 6 : Les programmes	356
Chapitre 7 : L'élitisme républicain	383
Chapitre 8 : Les principes et paris préalables à une mise en pratique effective et pérenne .	420
Partie IV : Etude pratique du « débat scientifique » en tant que dispositif d'enseignement global et pérenne.....	479
Avertissement.....	480
Chapitre 1 : Exigences et spécificités d'un « débat scientifique » pérenne	487
I) Deux grands groupes d'exigences incontournables : primauté de l'épistémologie et lien entre le local et le global.....	487
II) Les autres objectifs incontournables du débat scientifique d'ordre démocratique et éthique	511
III) Spécificité de ce type de débat dans un enseignement.....	512
IV) Trois questions cruciales sur la consistance épistémologique et sur la pertinence didactique de ce principe.....	519
Chapitre 2 : Présentation d'un deuxième script de débat scientifique dans une classe de seconde.....	521
Le script de « débat scientifique » de cette classe de seconde.....	523
Chapitre 3 : Ce qui se joue en réalité dans un débat.....	537
I) Pour éviter les malentendus, mettons-nous d'accord sur les comportements attendus des élèves/étudiants lors d'un « débat scientifique ».....	537
II) Dans ce type de débat un double mécanisme didactique est à l'œuvre.....	542
III) Le débat a pour but de faire évoluer les conceptions profondes du sujet élève/étudiant, de provoquer un double retournement.....	547

*Partie I : Finalités et origines
du « Débat Scientifique »
dans un enseignement*

Chapitre 1 : Fonction et place de ces « débats sur les savoirs du cours »

I) Affrontement du paradoxe caché de l'école

Un choix initial en apparence paradoxal car contraire aux pratiques didactiques dominantes.

Plus nos élèves/étudiants ont du mal à s'intéresser véritablement à la discipline que nous leur enseignons, plus ils ont de réticences à chercher à comprendre sur le fond car ils sont faibles et/ou très scolaires **et plus cette conjugaison de faits nous invite¹² en tant que professeurs à devenir des « pédagogues sauveurs » qui inclinent à présenter des savoirs simplifiés, des savoirs qui à défaut de pouvoir être acquis dans leur sens profond¹³ par ces élèves/étudiants en difficulté, pourront néanmoins être appris par eux comme des règles à appliquer dans des circonstances bien précises (des savoirs d'apparence conceptuelle, mais qui risquent de perdre par cette réduction mécanistique, leur fonction première d'aider le sujet qui les intériorise à mieux penser et mieux comprendre les situations complexes et/ou inattendues).**

12 Et tout notre environnement scolaire et la société dans son ensemble nous y poussent, en particulier les parents, les collègues, l'administration, nos propres élèves/étudiants, et finalement notre propre conscience.

13 **Donner un sens profond à un savoir, intérioriser un savoir** signifie pour nous, non seulement que le sujet élève/étudiant comprend ce qui est essentiel, mais en plus que cela le transforme : il voit le monde autrement, il se forge une représentation suffisamment pertinente de ce que représente ce savoir pour pouvoir en faire un outil intellectuel propre dont il va pouvoir se servir ultérieurement, qu'il va pouvoir investir de son propre chef pour aborder d'autres problèmes, étudier d'autres savoirs, prendre des initiatives.

Ainsi, dès qu'une difficulté didactique apparaît pour enseigner un concept ou une théorie, tout pousse le professeur à aller vers cette transformation réductrice de sens profond des savoirs, et finalement **la pression extrêmement forte qui s'exerce partout et à tous les niveaux d'études fait de ce choix de non enseignement (ce choix non voulu) une pratique dominante de l'école de la maternelle à l'université - choix dominant accepté par beaucoup comme un mal nécessaire car il permet à un coût didactique « raisonnable » de faire avancer la « machine scolaire », il évite que cette institution ne se bloque complètement à force de ne pas regarder en face ses contradictions internes.**

En effet, avec ce choix de nature épistémologique¹⁴ et didactique « l'école fonctionne »..., puisque dans presque tous les enseignements on arrive à parcourir avec les meilleurs élèves/étudiants l'ensemble du programme alors que ce dernier est très conséquent et que de plus, même si la grande masse des « moins bons » sans être « très mauvais » pèse sur la bonne marche de la classe ou de l'amphi, **presque tous arrivent néanmoins à suivre et à réussir tant bien que mal aux évaluations et finalement à « passer de façon décente » d'une classe à la suivante.**

On sait très bien, par contre, et à juste titre que ces mêmes élèves, ces mêmes étudiants majoritaires opposeraient très certainement des résistances terribles à la bonne marche du système si **par ambition démesurément utopique on les laissait aller buter sur les vraies difficultés conceptuelles du programme.** (En effet, sans changer de didactique, pratiquement tous trébucheraient durablement sur toutes ces difficultés.)

Comme nous l'avons déjà souligné, **le « principe du débat scientifique dans un enseignement » qui a pour fonction d'amener l'élève/l'étudiant à penser davantage par lui-même et pour lui-même ce qu'un professeur enseigne dans une classe ou un amphi, est l'alliance d'une philosophie et d'une technique qui conjugue une bonne dose d'utopie et un réalisme très pragmatique.**

Ainsi, en présence d'une majorité (parfois la totalité) d'élèves/étudiants manifestant a priori très peu d'ambition et d'appétit épistémologiques, **le choix a priori très utopique de ce principe d'enseignement est de ne pas céder à cette tentation salvatrice de scolarisation à outrance des savoirs qui apparaît à beaucoup comme la seule solution réaliste, et de chercher au contraire à faire travailler tous ces élèves/étudiants, y compris les plus faibles, sur des savoirs assez complexes et problématisés pour être conceptualisés par eux (et non mécanisés pour passer les épreuves !).**

14 Dans tout ce texte, quand nous faisons référence à l'**épistémologie** - i.e. à l'étude critique des sciences - nous parlons essentiellement de l'épistémologie d'une personne (le professeur, l'élève, le chercheur) en lui donnant la signification suivante : c'est l'ensemble des considérations qui fondent pour cette personne l'activité structurée qu'il pratique ou qu'on lui propose de pratiquer, c'est tout ce qui le pousse à penser que ce qu'il fait ou qu'on lui demande de faire est pertinent ou non, fondé ou pas, intéressant en soi ou par ses applications. Avoir une réflexion épistémologique, manifester un appétit épistémologique, c'est pratiquer l'activité que le chercheur effectue en permanence sans s'en rendre compte quand il soupèse à chaque instant la valeur d'une idée nouvelle, d'une démarche qu'il entreprend ; c'est une activité que l'élève pratique aussi en permanence dans sa recherche du sens mais à partir de critères le plus souvent très différents : « à quoi ça sert ? pourquoi faire ou ne pas faire ceci ou cela ? en ai-je le droit ou non ? est-ce utile ou pas et pourquoi ?»

Nous disons ici que ce choix de transformer les savoirs conceptuels en savoirs de type règles à bien appliquer est de nature épistémologique et didactique car d'un côté cela change complètement la nature et la portée de ces savoirs et que d'autre part ce choix est dicté par ce que l'on pense possible d'enseigner : puisqu'il semble impossible d'enseigner le concept, on va le réduire à une technique qui est jugée plus « enseignable » !

Contrairement à ce qu'on a tendance à penser dans une vision très « raisonnable » et protectrice d'une certaine « réussite scolaire » de tous, **ce choix ambitieux de la problématisation** des savoirs pour préserver leur force en tant que concepts, **apparaît à l'usage comme beaucoup plus réaliste car protecteur d'un autre type de réussite pour tous** (une réussite de l'humain et du citoyen qui peut s'appuyer fortement à l'école et hors de l'école sur la qualité de ses apprentissages scolaires pour progresser, trouver sa place dans la société et mieux comprendre le monde qui l'entoure).

De fait, si dans le premier choix didactique très réducteur au niveau épistémologique on produit bien une certaine réussite scolaire en misant sur les effets mécaniques d'une scolarisation à outrance des savoirs, **c'est le plus souvent une réussite très locale et à très court terme** (puisque ce processus oblitère fortement les apprentissages ultérieurs ne permettant au mieux que des applications sur du déjà vu et ne développe que très peu un processus de conceptualisation néanmoins si nécessaire au citoyen pour affronter la complexité de la vie en société) ; **dans ce second choix, par contre, qui redonne une primauté au respect pour l'élève de l'épistémologie des savoirs, on fait un choix très ambitieux certes, mais un choix très cohérent car il respecte et le savoir et la spécificité profonde de l'humain dans sa capacité à pouvoir vivre en société autrement qu'en laissant ses décisions être dictées par l'obligation de se défendre ou son désir de plaire et/ou de dominer.**

En effet ce second choix, qui replace l'évaluation au niveau des moyens de contrôle et non comme une fin en soi, mise par contre très fortement sur le fait que les élèves sont *des sujets épistémiques*¹⁵, *c'est-à-dire des sujets rationnels* qui fondamentalement (même s'ils ne le manifestent pas a priori) *aspirent à comprendre et à pouvoir exercer une responsabilité intellectuelle* sur ce qu'on leur montre ou leur demande de réaliser.

Si on joue pleinement ce jeu épistémique (en l'organisant de façon à ce qu'il soit réaliste), l'expérience montre que l'on fait alors un choix didactique très efficace (pour ne pas dire très rentable) car, si nos élèves/étudiants sont de « vrais humains » (hypothèse/pari qui ne s'est jamais démenti dans toutes nos expérimentations), c'est bien en travaillant avec eux le caractère conceptuel des savoirs du cours qu'on peut le mieux libérer leurs véritables potentialités et leurs énergies pour apprendre.

15 Quand nous regardons l'élève/l'étudiant comme sujet épistémique, nous essayons de découper dans les motivations et la réflexion de ces sujets tout ce qui relève d'une interrogation personnelle sur le sens, la portée, l'utilité, la validité de la situation dans laquelle il se trouve, ou des assertions qui lui sont présentées ; c'est donc ce sujet épistémique qui se forge d'année en année une épistémologie propre sur chaque discipline qu'on lui enseigne à l'école. De façon générale, on constate partout que l'élève/l'étudiant se forge à l'école (de par ce choix dominant de réduction des concepts à des règles) une épistémologie beaucoup trop scolaire en ce sens que ce qui fonde ses actions, leur donne de la valeur, et une certaine validité, c'est d'abord et avant tout de savoir si elles seront ou non considérées comme justes par le professeur, si elles lui permettront d'avoir une bonne note aux examens. Un des buts essentiels du « débat scientifique » est d'amener l'élève/étudiant à transformer cette épistémologie très/trop scolaire en une épistémologie plus scientifique. Dans ce cas, ce qui fondera pour ce nouveau sujet épistémique élève/étudiant l'action entreprise ou à entreprendre ce sera d'abord sa pertinence dans la résolution d'un problème, ce qui justifiera la rigueur d'une démonstration ce sera d'abord la recherche de la vérité et de l'explicitation des vraies raisons qui font « marcher les choses », ce qui sera considéré comme intéressant dans un théorème ou dans une formule ce ne sera pas d'abord sa probabilité de présence à l'examen mais plutôt la puissance de l'outil intellectuel qu'il (elle) représente en soi, la force de l'idée ou de la vérité universelle dont il (elle) est porteur et qui aide ce sujet épistémique à mieux penser en propre le monde ! Nous dirons alors qu'il a un grand appétit épistémologique et/ou s'est forgé une épistémologie riche !

Nous avons constamment constaté que c'est en faisant des choix didactiques de ce type que *ces élèves, ces étudiants ordinaires* que nous rencontrons tous dans nos classes et nos amphithéâtres, apparemment sans appétit/capacité épistémologique (re)découvrent *ce à quoi ils aspirent fortement quand ils viennent en cours, ce qu'ils attendent véritablement de leur passage à l'école : ce qu'ils désirent intensément (mais n'osent plus manifester par refoulement et/ou peur du ridicule) c'est comprendre sur le fond ce qu'on leur enseigne, c'est devenir intellectuellement adulte, c'est avoir un jugement propre plus fiable et pertinent, c'est pouvoir travailler dans une certaine autonomie intellectuelle, donc prioritairement par intérêt propre pour le sujet de l'étude plutôt que pour obtenir une bonne note, passer dans la classe suivante et/ou éviter une sanction.*

Ce second choix donc, paradoxal en apparence seulement, permet par contre d'affronter dans sa réalité assez effrayante et sans culpabiliser le vrai paradoxe caché/refoulé de l'école que l'on peut résumer de façon lapidaire de la façon suivante :

Le vrai paradoxe caché/refoulé de l'école

Tout un chacun convient aisément que l'essentiel à l'école, c'est...

« qu'ils comprennent vraiment ce qu'on leur enseigne ! »

mais... (chut ! il ne faut pas le dire trop fort!) ne faisons surtout pas de ce désir de compréhension profonde un objectif prioritaire de l'école car...

- *pour le professeur, « un tel objectif est totalement inaccessible ! »*
- *pour l'élève, l'étudiant et son entourage proche, « la non réalisation de cet objectif ne doit surtout pas être un obstacle à la réussite aux examens et concours ! ».*

De façon plus précise, ce paradoxe trouve son origine et *sa capacité à nuire* dans le cloisonnement total que chacun de nous a tendance à effectuer quand il réfléchit à l'école de l'intérieur ou de l'extérieur, *cloisonnement de notre façon de penser l'instruction/éducation qui permet à tous de désirer intensément une chose et d'accepter néanmoins comme une nécessité de faire le contraire :*

- d'un côté, quand un membre de la société réfléchit à la fonction sociale des apprentissages scolaires, il y a quasiment unanimité autour du point de vue développé par Montaigne de « la tête bien faite plutôt que bien pleine », unanimité donc pour convenir que le plus important c'est que les élèves/les étudiants comprennent véritablement ce qu'on leur enseigne, apprennent à réfléchir, à raisonner convenablement, développent leur créativité et leur capacité à réagir et à s'adapter face à l'inconnu et à la complexité (bref, chacun est d'accord pour donner à l'école la mission que nous assignons au « principe du débat scientifique en cours » !)

mais...

- d'un autre côté, quand ce même membre de la société réfléchit de l'intérieur de l'école (comme élève/étudiant, parent, professeur, administration, ministre de l'éducation, etc.) à la façon de faire marcher l'école, d'y réussir, d'y faire réussir, cette institution change brutalement de statut au niveau de sa fonction sociale et de ses objectifs prioritaires. Dans la réflexion propre de ce même membre de la société, cette institution qu'il voyait comme un instrument de formation conçu par la société pour apprendre à tout citoyen à mieux gérer

la complexité de la vie en société change brutalement de statut et il la voit maintenant principalement comme un grand jeu collectif obligatoire, qui doit être conçu pour pouvoir se jouer comme une fin en soi.

*Dans cette autre vision de l'école, les épreuves d'examens et de concours qui seraient dans la première vision (l'école a pour mission d'instruire et de faire comprendre en profondeur) regardés comme un moyen, comme l'accompagnement nécessaire de l'enseignement ayant principalement pour fonction d'indiquer le plus objectivement possible si les apprentissages se font convenablement ou non et ce qu'il faut éventuellement retravailler ou apprendre autrement en cas de déficit avéré, dans cette autre vision donc... tout cela existe en terme de fonction de l'évaluation, mais devient très secondaire, car **réussir à ces épreuves de contrôle devient un but en soi auquel on peut tout sacrifier, y compris - si c'est le prix à payer - le fait de comprendre véritablement.***

Dans cette autre vision de l'institution scolaire, l'honnêteté intellectuelle n'est plus alors vue comme une vertu mais plutôt comme un handicap qu'il ne faut pas surajouter aux autres difficultés d'apprentissage, car ce qui compte principalement ce n'est pas ce qu'on a vraiment compris et intériorisé, mais plutôt ce qu'on manifeste être capable de restituer, le jour dit, et de la façon convenue pour réussir à ces évaluations but et sanction ultime (bachotage).

Ce paradoxe de la disjonction de ces deux visions de l'école, chaque professeur s'y heurte au quotidien car lorsqu'il regarde un programme, il repère un certain nombre de savoirs importants, notamment ceux qu'il considère comme indispensables pour poursuivre des études dans cette discipline ou dans d'autres ; de façon instinctive il pense donc que rien n'est plus important que d'arriver à bien faire comprendre ces savoirs essentiels de son programme afin que le plus grand nombre possible d'élèves/étudiants puissent réinvestir demain ce qu'ils ont appris et compris aujourd'hui.

Mais paradoxalement, quand ce même professeur se retrouve devant ses propres élèves/étudiants et constate la superficialité de leurs apprentissages antérieurs, il mesure vite ce que va lui coûter en temps et en énergies le fait d'approfondir le moindre point litigieux, et il mesure de plus (vu le peu d'habitude à la réflexion profonde de ses interlocuteurs) le peu de certitude qu'il a de pouvoir conduire avec succès cet approfondissement ; il lui apparaît donc dans l'action comme totalement utopique de vouloir rassembler les conditions qui permettraient d'espérer avoir fait suffisamment réfléchir la classe ou l'amphi pour donner à chacun des participants une réelle possibilité de construire du sens et de s'appropriier en profondeur les savoirs les plus essentiels du programme !

*Devant cette contradiction entre le souhaitable et le possible, **le professeur est insidieusement entraîné dans un cercle vicieux** que l'école cache semi-consciemment pour assurer son propre fonctionnement et qui en réalité la mine puisqu'il l'oblige à ne pas voir que ce qu'elle considère comme sa fonction essentielle (faire comprendre), elle refuse de se donner les moyens d'y parvenir.*

Ce cercle vicieux peut se décrire comme suit.

Quand le professeur réfléchit à ce qu'il va pouvoir faire en classe ou en amphi avec les élèves/étudiants tels qu'ils sont en face de lui, il se dit :

- pour enseigner en compréhension les savoirs essentiels de mon programme il faudrait au minimum qu'ils aient compris en profondeur les savoirs essentiels des programmes précédents,

- or, de façon presque certaine,... ce n'est pas le cas !

- débrouillons-nous donc pour qu'ils puissent apprendre les savoirs essentiels du programme présent et réussir aux examens et concours sans avoir à aborder frontalement le problème de leur signification profonde ;

- ceux qui réussiront aux évaluations conçues dans cet esprit, pourront ainsi suivre avec succès les enseignements ultérieurs, du moment que ceux-ci auront été organisés de façon à ne pas faire directement appel au sens profond.

Ce cercle vicieux collectif, dans lequel tout professeur se trouve insidieusement invité à entrer et dont il est bien difficile de sortir par décision individuelle car il est d'autant plus cohérent que tout le monde l'adopte/le protège, « sauve l'école » dans son fonctionnement vu de l'extérieur, et par contre la mine dans son fonctionnement interne, puisque paradoxalement plus on monte dans les niveaux d'études, plus il est difficile de jouer le jeu de l'approfondissement du sens (en se spécialisant, le sujet épistémique élève/étudiant doit aborder des savoirs de plus en plus complexes dont la compréhension repose en grande partie sur l'intériorisation d'une quantité de plus en plus importante de savoirs antérieurs qui n'ont - en raison du cercle vicieux - le plus souvent été abordés et par suite retenus par lui que de façon très superficielle).

Le drame de l'école c'est que, pour assurer simultanément son fonctionnement interne et sa légitimité vis-à-vis de la société, elle place les professeurs, les élèves/étudiants et leurs parents dans une position éthique paradoxale où tous sont plus ou moins obligés de tricher avec le sens pour que son absence ne se voit pas trop, pour ne pas se mettre en état d'infériorité par rapport aux autres, pour être en conformité avec la norme :

Pour maintenir un niveau, l'école construit des programmes d'enseignement le plus souvent assez conséquents comportant par suite des savoirs conceptuels assez/voire très élaborés.

Par souci de cohérence, l'école éprouve un grand attachement à vérifier que chaque programme est bien couvert dans son intégralité de façon à ce qu'aucun savoir supposé traité les années précédentes ne manque de façon insupportable pour aborder de nouveaux savoirs qui se réfèrent en principe aux anciens.

C'est d'ailleurs sur cette vérification formelle que la pression la plus forte s'exerce sur les professeurs qui se retrouvent en faute professionnelle s'ils ne souscrivent pas à cette exhaustivité du programme effectivement traité.

Par contre, pour échapper aux contradictions du paradoxe que nous venons de dégager, l'école ne se soucie pas de contrôler véritablement le niveau d'intériorisation des savoirs complexes (elle se soucierait plutôt du contraire : pour éviter tout scandale l'Inspection doit absolument contrôler le fait que cette compréhension profonde ne devienne pas un passage obligé pour réussir à une épreuve, et cette « censure » est nécessaire car, sans changer de didactique, évaluer les acquisitions franchement conceptuelles, outre le fait que c'est délicat, deviendrait un obstacle rédhibitoire à la réussite à tout examen et poserait d'énormes problèmes de réorganisation des concours - il suffit d'observer les tractations qui s'effectuent à chaque fois que se profile une évolution vers une plus grande évaluation du conceptuel dans les évaluations nationales).

Au bout du compte, puisque d'un côté l'école se donne les moyens d'évaluer si tout a été enseigné et que parallèlement elle s'interdit de savoir si l'essentiel a été suffisamment compris, le professeur se retrouve seul devant l'obligation de devoir instruire

de plus en plus d'élèves/étudiants qui n'ont pratiquement pas construit de sens profond sur ce qu'ils ont appris les années antérieures (même lorsqu'il s'agit de savoirs fondamentaux rencontrés plusieurs années de suite et sur lesquels les contresens et le non sens, loin de disparaître à l'usage, se sont enkystés).

Le professeur de cette école est donc en permanence mis dans une situation didactique paradoxale car sans cesse pris en tenaille entre ce qu'il doit faire et ce qui lui interdit de le faire proprement, puisqu'il doit en principe enseigner beaucoup de nouveaux savoirs consistants qui s'appuient sur des savoirs anciens *en principe eux aussi consistants, mais qui sont en réalité des savoirs fictifs* pour la plupart des élèves de la classe ou des étudiants de l'amphi : *comment traiter en rationalité un programme si de fait on est plus ou moins condamné à ne se référer en permanence que de façon très formelle, très superficielle à ce qui devrait être pour chacun des sujets épistémiques à qui on s'adresse la base de la construction du sens, puisqu'il ne reste rien de bien signifiant de tout cela pour une majorité, voire dans certains cas, la totalité d'entre eux !?*

Telle est donc l'équation didactique «paradoxale» à laquelle tout professeur est en principe confronté dès les premiers niveaux d'école (excepté le premier, ... encore que des milieux socio-culturels différents créent déjà là des écarts très importants en termes d'acquis culturels sur lesquels le professeur peut s'appuyer), équation qui contrairement à ce qu'on voudrait espérer (« à force de répéter ils finiront par comprendre ») trouve de plus en plus difficilement de solution acceptable quand on monte dans les niveaux d'études.

Ainsi, de façon contradictoire mais bien compréhensible, *chaque professeur se plaint à un niveau donné de ce déficit initial de sens chez ses interlocuteurs au moment où il débute son enseignement avec un nouveau groupe d'élèves/étudiants, mais il se sent ensuite dans l'obligation d'ignorer les conséquences dramatiques de ce déficit de sens sur l'ancien pour construire du sens sur le nouveau.*

Pris dans les contraintes d'un programme très chargé, même s'il choisit de ne pas brader les savoirs qu'il enseigne (il traite tout et ne routinise pas les concepts) ce professeur *ne voit pas comment éviter de contribuer à alourdir lui aussi ce déficit de sens en introduisant de nouveaux savoirs délicats* (qui vont probablement créer à son corps défendant de nouveaux malentendus dans la classe ou l'amphi puisqu'il faudra en principe aborder ces nouveaux savoirs en s'appuyant sur les anciens, mais en pratique *sans avoir pu résorber au préalable les malentendus qui existent sur ces savoirs anciens et qui ne vont pas manquer de faire obstacle à la bonne compréhension de ce qui s'enseigne de nouveau*).

C'est donc ce paradoxe que le recours au « débat scientifique » se donne pour *mission première de dépasser en l'affrontant directement* (par une problématisation des savoirs délicats) au lieu de le fuir : par ce « débat » il s'agit de se donner pendant le cours et les travaux dirigés les moyens de faire sortir les malentendus profonds qui existent sur les savoirs anciens qui interviennent dans l'étude, afin de pouvoir aborder les savoirs essentiels du programme (en particulier les nouveaux concepts et les théories) avec une *profondeur épistémologique* telle que cet enseignement supplémentaire ne perpétue pas, n'amplifie pas, ne reporte pas sur les enseignements à venir, la source principale des difficultés que nous venons de mettre en exergue (devoir traiter de façon rationnelle un programme chargé qui s'appuie très substantiellement sur des savoirs insuffisamment compris et maîtrisés par la quasi-totalité des élèves et des étudiants à qui on s'adresse ; soit encore, se retrouver dans

l'obligation « absurde » de devoir traiter de façon irrationnelle pour le sujet épistémique élève/étudiant ce dont on avait l'ambition de l'instruire rationnellement !)

Question cruciale : par quel miracle peut-on donc espérer réussir une transformation aussi paradoxale puisque la plupart des actions pédagogiques qui ambitionnent, elles aussi, de traiter les erreurs des élèves et des étudiants (de les éradiquer par des « remédiations » reposant le plus souvent sur la sur-explication et sur la répétition d'actions routinières adaptées au niveau des élèves/étudiants en difficultés) échouent néanmoins le plus souvent en pratique sur cet aspect d'acquisition (de ré-acquisition) du sens profond des concepts et des théories !

Cette réussite que nous avons pu constater à tous les niveaux où nous avons expérimenté le principe du « débat scientifique » repose sur **un pari fondamental et une gestion didactique très structurée de ce pari.**

Le pari fondamental qui conditionne la réussite de ce changement de paradigme est celui que nous avons plusieurs fois évoqué au détour d'une explication :

« Les individus et les groupes sont potentiellement assez intelligents et créatifs (beaucoup plus que l'école ne le leur prête spontanément dans sa conception éducative très monstrative¹⁶) pour dépasser les barrières à la construction du sens profond que l'on rencontre classiquement !

L'expérience montre que ce pari est très raisonnable (aucun des très nombreux groupes classe ou amphi que nous avons rencontrés ne l'a jamais sérieusement mis en défaut) dès lors qu'on l'applique à un groupe classe ou amphi dont on centre l'activité autour de deux axes : chaque sujet est convoqué en tant que **sujet épistémique qui doit exercer sa rationalité en interaction avec ses pairs à propos des savoirs du programme les plus consistants au niveau épistémologique.**

On constate régulièrement que si les débats entre pairs sont organisés par le professeur de façon très structurée autour des savoirs consistants du programme, ils prennent le plus souvent **une tournure franchement scientifique qui exploite à plein ces intelligences trop souvent en sommeil dans un enseignement monstratif** : comme ces « débats » permettent de lever régulièrement les malentendus les plus importants qui font barrière à la construction du sens profond, il devient chaque jour un peu plus aisé de confier, de « dévoluer »¹⁷ aux individus élèves/étudiants et au groupe classe ou amphi **une responsabilité intellectuelle** de plus en plus grande (beaucoup plus grande que celle que l'on peut confier traditionnellement aux élèves d'une classe ou aux étudiants d'un amphi qui fonctionnent avec des modes d'enseignement plus classiques).

On observe alors que, de même qu'il s'installe une sorte de cercle vicieux quand on routinise trop les savoirs pour faire réussir artificiellement (les élèves/étudiants adoptent alors un comportement de plus en plus irresponsable et pavlovien), à l'inverse il s'installe derrière tout principe de responsabilisation intellectuelle de l'élève/étudiant, de la classe et ou de l'amphi (lorsqu'il est didactiquement bien structuré) une sorte de cercle vertueux : si

16 Quand nous utilisons l'adjectif « **monstratif** » au sujet du comportement habituel des professeurs ou de l'école en général, nous désignons par là une tendance naturelle, un quasi réflexe compulsif de professeur et de parent qui pousse tout adulte en position de formateur à **montrer directement ce qu'il veut faire comprendre**, plutôt qu'à (choix « **constructiviste** ») créer les conditions pour que l'élève/l'étudiant, l'enfant **découvre en partie par lui-même, construisse** par essais/erreurs et réflexion propre ce qu'on veut lui enseigner.

17 « Dévoluer une responsabilité scientifique à l'élève/étudiant » car dans un contrat didactique traditionnel cette responsabilité intellectuelle appartient quasiment au Maître seul dans une sorte de droit royal ou divin.

un procédé didactique confie plus de responsabilité intellectuelle au sujet élève/étudiant (en misant sur son intelligence, mais en veillant bien entendu à ce que cela reste une responsabilité que ce dernier puisse effectivement exercer) ce sujet épistémique prend plus rapidement/fortement conscience de la présence des malentendus sur le sens profond qui lui interdisait de comprendre véritablement, il peut donc plus rapidement/profondément les corriger et alors... **comme ces malentendus** qui habituellement rendent dérisoire (surtout quand ils s'enkystent) toute véritable prise de responsabilité intellectuelle de l'élève, **vont en diminuant**, il est de plus en plus raisonnable pour le professeur et efficace pour ses interlocuteurs de confier à la communauté intellectuelle classe ou amphi et à chacun de ses sujets épistémiques aux intelligences avérées davantage de responsabilité intellectuelle !

Ce pari initial sur l'intelligence des individus et des groupes est donc déterminant quand on cherche à exploiter le principe du « débat scientifique en cours » car **inviter les élèves d'une classe ou les étudiants d'un amphi à faire des propositions générales, à soutenir des thèses et à en débattre en pleine responsabilité intellectuelle n'est déontologiquement acceptable** pour le professeur et efficace pour la majorité des élèves d'une classe ou des étudiants d'un amphi **ordinaire** que **si le professeur y croit** et mise d'entrée de jeu très fortement sur ces intelligences et cette créativité individuelles et collectives qu'il **pose comme un acte de foi a priori**.

Si le professeur ne fait pas ce pari initial, il n'osera pas faire une telle dévolution de responsabilité intellectuelle ou il la fera à moitié et de ce fait il aura peu de chances de libérer ces intelligences individuelles et collectives, même si elles sont bien présentes et capables de changer radicalement les possibilités d'un cours ou d'une séance de travaux dirigés dès qu'elles sont au rendez-vous pour étudier ensemble un savoir délicat.

Bien entendu, s'il fait ce pari, le professeur doit effectivement vérifier à terme que ces intelligences sont bien présentes dans le groupe à qui il s'adresse afin de ne pas embarquer de façon irresponsable sa classe ou son amphi dans une aventure collective sans espoir¹⁸.

Tout ce que nous avons pu expérimenter dans les classes et les amphis nous a constamment montré que le changement de paradigme didactique que représente le principe du « débat scientifique » permet bien d'atteindre cet objectif de construction de sens profond pour la très grande majorité, mais... **il ne permet d'atteindre ces objectifs que si précisément le professeur convoque en permanence ces intelligences et cette créativité des individus et des groupes en confiant à la classe ou à l'amphi de vraies responsabilités intellectuelles sur la vérité et la pertinence des propositions mises en débat**, que s'il crée aux moments propices les conditions pour que ces responsabilités **puissent s'exercer collectivement sur les savoirs essentiels du programme** en exploitant le plus possible la synergie que représente potentiellement la rencontre d'un thème d'étude épistémologiquement consistant par des sujets épistémiques aux intelligences bien réelles et diverses !

L'importance de la structuration de ce pari (il ne s'agit pas de la méthode Coué)

N'ayons pas peur de le redire, notre observation des situations de « débat scientifique » à tous les niveaux et dans tous les types de groupes (forts ou faibles) nous a montré que **si ce débat est très structuré** (toute l'écriture de ce livre cherche à livrer les « bonnes clés » de cette structuration) et si **ces groupes de sujets psychologiques et sociaux arrivent à trouver un**

¹⁸ Mais honnêtement toutes nos expérimentations nous indiquent que si le « débat scientifique » n'arrive pas à s'enclencher ou pose de gros problèmes dans une classe ou un amphis il est peu probable que ce soit un déficit d'intelligence de ce groupe qui en soit la cause principale.

bon équilibre dans les relations affectives et sociales qu'ils tissent autour de la résolution de situations problématiques (l'attitude du professeur est ici déterminante, nous y reviendrons souvent), la diversité de leurs intelligences mise au service de l'étude de savoirs consistants engendre très souvent une intelligence et une créativité de groupe classe ou amphi par moments totalement stupéfiante et proprement impensable a priori à partir de l'observation du fonctionnement de ces « mêmes groupes de sujets épistémiques » dans une organisation didactique où l'intelligence et la créativité des individus sont principalement mobilisées autour de l'écoute et de la mise en application des explications et consignes du professeur, voire de la mise en concurrence entre les sujets sociaux (ces intelligences et cette créativité sont, en quelque sorte, neutralisées d'un côté par le découpage des difficultés et leur effacement excessif, d'un autre côté par le monopole de la responsabilité intellectuelle que le professeur exerce en permanence dans la classe ou l'amphi pour guider plus rapidement ses élèves/étudiants vers la « bonne réponse », la « bonne solution » et, enfin, par le désir d'être le premier au jeu du « bon élève » plutôt que de gagner au jeu d'une compréhension plus profonde et plus partagée !)

II) Place des « débats » dans l'ensemble du cours

Quelle place accorder aux débats des élèves d'une classe ordinaire ou aux débats des étudiants d'un amphi ordinaire pour arriver à tenir compte du caractère contradictoire de la double exigence suivante :

- *arriver à couvrir l'essentiel d'un programme (le plus souvent assez chargé),*

et simultanément

- *arriver à donner à la majorité des élèves/étudiants « réels » (ceux qui sont là avec leurs ignorances et leurs modes de pensée plus ou moins bien adaptés et non des étudiants fictifs ayant déjà intériorisé l'essentiel de ce qu'ils sont supposés avoir acquis) la possibilité de construire un sens profond effectif sur les points essentiels du programme couvert.*

Vu les oppositions que nous venons d'évoquer, comme tout débat réellement scientifique dans une classe ou un amphi prend du temps et des énergies et comme le professeur est déontologiquement le garant du bon usage des possibilités d'apprentissage que représente une séance de cours ou de travaux dirigés, il ne doit donc pas concevoir a priori d'engager des « débats » sur tel ou tel aspect du programme s'ils ne sont pas indispensables en un certain sens, i.e. s'il peut de bonne foi estimer qu'un procédé didactique plus économique en temps et en énergies suffira à la construction du sens principal pour la majorité de ses interlocuteurs.

Le professeur va donc considérer comme « nécessaire a priori » (notamment en préparant son cours ¹⁹) d'introduire un débat à tel ou tel endroit et sur tel ou tel sujet précis

¹⁹ Il se peut aussi que le professeur se trouve inopinément contraint dans l'action à prendre une telle décision s'il

seulement là où sa propre expérience d'élève/étudiant et/ou ses éventuelles tentatives d'enseignement des années précédentes lui indiquent assez clairement qu'en ayant recours aux procédés classiques « plus économiques », plus monstatifs, l'enseignement de cette partie du cours risque soit de produire un « vide épistémologique » soit de conduire à une sorte « d'absurdité didactique »²⁰.

Ces situations qui requièrent prioritairement un « débat » sont donc celles où l'on observe habituellement qu'une grande partie d'élèves/étudiants perdent dès le départ de l'étude ou très rapidement le fil de ce qu'on leur propose :

- **soit ils n'arrivent pas à se saisir de ce qui est important** dans ce qu'on leur montre de nouveau car c'est trop complexe, cela va trop vite, c'est trop contraire à ce qu'ils pensent spontanément (obstacles épistémologiques),

- **soit ils peuvent suivre le mot à mot** de ce que le professeur leur montre ou leur demande de faire, **mais pas le sens global** : ils comprennent tellement peu le « vrai pourquoi » de tout cela qu'ils ne voient pas du tout ce qu'on est en train de faire (certains s'ennuient, d'autres se sentent totalement dépassés)²¹, notamment quand le professeur effectue des vérifications ou des démonstrations.

Dans ce cas, la rigueur à laquelle le professeur tend à les initier devient rapidement pour bon nombre d'entre eux en un sens assez ridicule et absurde, ce professeur semble leur imposer une sorte d'autoritarisme (une autorité de Maître nullement fondée sur un plan épistémologique), ils ne voient dans tout cela que tatillonnages et coercition. La plupart de ceux qui continuent à suivre le cours le font par docilité, sans véritable intelligence, avec pour unique motivation la carotte ou le bâton de la note; les questions iconoclastes du type « à quoi ça sert de faire tout ça ?! » abondent sans qu'il soit possible de leur donner une réponse simple et intellectuellement honnête.

Le débat que le professeur va envisager d'organiser ici pour traiter autrement ces situations aura alors pour mission soit de **redonner une consistance épistémologique à des savoirs anciens** dont le manque de sens interdit aux élèves de saisir ce qui est en jeu, **soit de désigner où sont les points essentiels dans ce qui est nouveau**, soit encore de **montrer le vrai « pourquoi » de la démarche adoptée**, tout cela de façon que la classe ou l'amphi puisse dès le début de l'étude d'un savoir complexe et tout au long de cette étude entrer dans une compréhension de l'essentiel qui soit suffisamment profonde pour que la plupart des élèves/étudiants qui auront participé à cet enseignement puissent ultérieurement exploiter de leur propre initiative ce savoir, là où il est opérant, et en particulier pour étudier en rationalité d'autres savoirs.

Dans la quatrième partie nous essayerons au IV du chapitre 1 de décrire à quels moments particuliers et pour quelles raisons spécifiques un professeur doit à notre avis ressentir en conscience l'utilité/l'efficacité potentielle d'ouvrir un débat spécifique sur un sujet précis et comment distinguer ces situations particulières de celles où ce débat ne présente plus du tout ce caractère de nécessité, voire serait dans certains cas inopportun !

Et nous serons obligés de convenir qu'en pratique ce partage est malheureusement plus complexe qu'il n'y paraît a priori car on ne peut pas toujours trancher facilement ; on ne peut

surgit une difficulté imprévue qui lui laisse craindre le pire au niveau du sens profond.

20 Il est « absurde d'enseigner et d'apprendre » quand l'essentiel échappe sûrement à l'entendement de l'élève !

21 C'est une des raisons de la suppression du cours magistral dans beaucoup d'enseignements ; suppression désastreuse, à notre avis, au niveau de la construction du sens profond, mais indispensable si on ne change pas de paradigme didactique, nous allons y revenir.

pas déclarer simplement, par exemple, qu'il faut mettre en débat tout ce qui est difficile et source de beaucoup d'erreurs, et hors débat le reste !

Disons néanmoins que ce qui nous semble le plus important, c'est d'arriver à installer dans la classe ou l'amphi une sorte de coutume de débat scientifique qui va permettre d'alterner deux modes didactiques aux logiques très différentes, la logique de la découverte d'un côté et de l'autre la logique de l'exposition (cf chapitre 3).

« Nécessité » d'installer une coutume de débat scientifique pour pouvoir alterner deux modes didactiques :

Comme nous l'avons signalé, ce qui semble très important quand on adopte le principe du débat scientifique en cours, c'est (pour des raisons d'écologie didactique et vu l'étendue des programmes) de ne **surtout pas chercher à tout mettre en débat dans un cours**, mais plutôt d'apprendre à bien cibler ce qu'on met en débat et pourquoi, et ce qu'on ne met pas en débat car ce n'est pas nécessaire a priori.

Ainsi, lorsque le professeur engage un débat, il sait vraiment pourquoi il le fait et ce qu'il en attend ; il accepte alors a priori de lui donner le temps nécessaire pour d'un côté ne pas le faire durer inutilement une fois qu'il a produit l'essentiel de ce qu'on en attendait, mais de l'autre côté pour ne pas le faire avorter prématurément (il risque de le faire avorter si trop pressé par la multitude des autres savoirs qu'il doit aussi enseigner, il ne parvient pas en conscience à donner à cette étude la place qui la rendrait efficace).

En effet, pour nous, le débat n'est ni un but en soi, ni une religion à suivre, mais seulement un outil didactique et éducatif qui se révèle être très puissant quand il est bien adapté à la complexité du savoir que l'on cherche à faire mieux comprendre, mais qui réclame malheureusement qu'on lui accorde un temps et des énergies auxquels le mode monstratif ne nous a pas habitués : contrairement à l'explication magistrale, le débat des élèves ne va « jamais » droit au but, il faut le plus souvent errer un certain temps pour que les idées importantes émergent et soient prises en considération par l'ensemble du groupe.

Certains savoirs ou certains moments de l'étude d'un savoir ne posent aucun problème particulier au niveau du sens et peuvent donc très avantageusement être traités sans recourir au moindre débat ou en autorisant des débats très restreints qui ne réclament ni temps ni énergies importants.

Ce qui nous paraît donc essentiel relève plutôt d'une sorte de « coutume du débat scientifique » :

- pour la classe ou l'amphi il s'agit (par une pratique assez régulière du débat) d'arriver progressivement à installer un nouveau climat en cours, qui permet au professeur de changer rapidement de contrat didactique²² quand cela lui paraît nécessaire.



²² Par « contrat didactique » nous désignons l'ensemble de règles, en parties négociées, le plus souvent très implicites, mais qui dictent néanmoins à chacun (professeur et élèves) à un moment donné ce qu'il doit faire vis-à-vis d'un savoir précis pour l'enseigner/l'apprendre. Nous appellerons « coutume didactique » un ou

Par exemple, les élèves/étudiants étaient en position d'écoute ou de mise en application de savoirs déjà enseignés (qui étaient donc des vérités institutionnelles) et brusquement le professeur pour diverses raisons estime important de les faire entrer dans un véritable questionnement scientifique : ***il est essentiel alors, qu'assez spontanément, assez naturellement, assez rapidement*** les élèves de la classe, les étudiants de l'amphi acceptent dans leur ensemble d'entrer dans ce questionnement sur le savoir (i.e. se mettent à réfléchir à une question ou un problème que le professeur désigne subitement comme **la question** qu'on se pose ou **le problème** qu'on veut résoudre sur le champ), se mettent donc à réfléchir seuls ou avec leurs proches voisins afin de pouvoir prendre l'initiative de faire des conjectures, de les proposer, de soutenir ou critiquer celles de leurs pairs, etc... ***sans qu'il soit nécessaire de perdre dix minutes à justifier ce changement de contrat didactique*** et d'en ré-expliciter en détail la nature.

Pour que ce dispositif soit compatible avec une écologie des apprentissages, ce qui est essentiel c'est donc que la classe/l'amphi dispose de cet outil didactique « débat scientifique » catalyseur de questionnement, et le maîtrise assez bien pour qu'il puisse se mettre en route assez spontanément quand cela apparaît indispensable (rappelons que certains de ces débats sont prévus et préparés par le professeur avant le cours, d'autres au contraire deviennent inopinément nécessaires, suite à un événement particulier qui montre brutalement que le sens profond ne passe plus par les moyens didactiques classiques).

III) Quel type d'éducation laïque et républicaine le débat scientifique a-t-il vocation à prendre en charge prioritairement ?

Dans l'école laïque et républicaine d'aujourd'hui on oublie trop souvent qu'enseigner c'est instruire et éduquer par l'instruction.

Nous reviendrons en détail sur cet aspect au troisième chapitre de la troisième partie dans le paragraphe où nous effectuons une analyse critique de l'école héritée de Jules Ferry, mais il nous paraît utile de préciser tout de suite au niveau des fonctions du « débat scientifique » quel type d'éducation laïque et républicaine ce principe du « débat scientifique » a vocation à prendre en charge.

A) Sur un plan social et éthique.

Le principe du « débat scientifique » est un procédé qui doit permettre à chaque sujet social d'expérimenter sur lui-même et sur l'entourage de ses pairs tout ce qu'on peut gagner tant sur un plan individuel que collectif en cherchant à construire ensemble par la raison des vérités communément partagées.

plusieurs types de contrat didactique dont la répétition fréquente, l'alternance et/ou la succession sont d'une certaine façon bien connues et acceptées par la classe ou l'amphi.

Globalement, la fonction des débats est de permettre à chacun d'expérimenter jour après jour et sur des thèmes variés les faits épistémologiques, didactiques et sociaux suivants :

- *Les vérités que l'on a construites ensemble erratiquement se présentent à nous comme beaucoup moins dogmatiques que celles que l'on a apprises directement dans une forme totalement achevée.*

- *La complexité de ces vérités (inévitables si elles sont consistantes) devient beaucoup plus acceptable et compréhensible quand elles nous apparaissent comme synthèses de points de vue complémentaires ou dépassement de points de vue franchement divergents.*

- *Ces vérités donc, fondatrices d'une culture que l'école cherche à transmettre, on s'en saisit beaucoup plus spontanément pour agir quand on a participé à leur élaboration, on accepte plus volontiers les limites et les contraintes qu'elles nous imposent lorsqu'elles nous font découvrir que ce qu'on croyait simple initialement ne l'est pas, que ce qu'on envisageait et souhaitait naïvement au départ comme possible, voire universel, ne se produit pas ou nécessite des conditions très particulières pour pouvoir se réaliser.*

*En amenant par le débat les élèves, les étudiants à mieux reconstruire ensemble le sens profond des savoirs les plus essentiels, **il s'agit donc de redonner de façon très pragmatique toute sa force à l'idéal humaniste et démocratique que le siècle des Lumières avait dévolu à l'instruction pour tous** : former par l'étude de savoirs consistants des sujets plus libres dans leur pensée et plus égaux dans leur dignité, des citoyens plus aptes à donner de la robustesse et de l'effectivité à une démocratie réellement humaniste.*

De façon plus précise, quelles valeurs essentielles de l'idéal démocratique des Lumières sont directement ou indirectement prises en compte par ce principe du « débat scientifique » en cours ?

Au delà de la pétition de principe de « liberté, égalité, fraternité », très fondamentale mais qui devient vite terriblement utopique dès qu'on cherche à la confronter à une quelconque réalité sociale, pétition de principe qui est par suite constamment bafouée à l'école comme partout ailleurs, il nous semble que l'idéal réaliste qu'on peut viser au sein d'une école laïque et républicaine c'est de ***favoriser l'instauration d'une organisation sociale qui, reconnaissant la tension inévitable entre intérêt particulier et intérêt général, cherche à trouver un bon équilibre entre les deux.***

Une organisation sociale où, chacun puisse trouver une certaine liberté individuelle, puisse manifester une réelle indépendance de pensée tout en acceptant que cela ne se fasse ni en sacrifiant systématiquement l'intérêt général à la satisfaction des intérêts particuliers, ni aux dépens de la construction d'une pensée plus universelle.

Il s'agit donc par l'instruction de contribuer à construire une organisation sociale où **chaque sujet propre a voix au chapitre** pour donner son point de vue et défendre ses intérêts légitimes, **mais une organisation collective où chacun va également comprendre et accepter** que pour que ce dispositif social fonctionne pour son propre bénéfice, **il se doit aussi d'accorder sa pensée personnelle à une pensée plus universelle afin de pouvoir considérer avec plus d'objectivité le point de vue de l'autre, des autres, ce qui lui permettra en fin de compte de défendre en conscience (sans regrets) l'intérêt général** et ce, même si par moments cette défense-là ne sert pas directement ses intérêts propres immédiats.

Pour nous, une démocratie du chacun pour soi, qui ne place pas comme une valeur centrale la notion « d'intérêt général », le souci de « bien commun » est une organisation sociale qui n'a pas de réelle valeur humaniste car à l'usage on constate que dès que cette notion d'intérêt général, de bien commun n'est plus la clef de voûte de l'organisation collective, alors l'égoïsme naturel de tout un chacun, les groupes de pression, les clans, les lobbies réduisent chaque jour un peu plus à néant, et une à une, toutes les valeurs humanistes fondamentales des Lumières.

Un type de démocratie très individualiste où chacun doit, hors de toute recherche réelle d'un bien commun, trouver le moyen de faire croire qu'il se soucie de « la chose commune » afin de mettre par ruse et en respectant parfaitement la loi la majorité dans son camp, une démocratie donc où le citoyen se sent en droit d'instrumentaliser autrui afin de parvenir à mettre en minorité tout choix qui ne lui conviendrait pas personnellement, se présente en apparence comme une organisation sociale moins violente qu'une dictature, mais il ne faut pas se bercer d'illusions pour autant car sans être gouvernée par une éthique humaniste elle peut devenir en réalité une organisation sociale très injuste, implacable et cruelle. (Rien n'est plus insupportable, par exemple, que de voir une communauté humaine prendre très démocratiquement des décisions contraires à son intérêt profond car habilement manipulée par quelques esprits subtils qui ne servent en réalité que leurs intérêts propres.)

Dès qu'une organisation sociale ne transmet plus l'éthique de ses règles propres avec ses règles elles-mêmes, elle prend le risque de voir ces règles détournées/retournées au profit de la loi du plus fort (du plus rusé).

Il en va, semble-t-il, de la démocratie comme du reste : lorsqu'elle n'est pas assez intelligemment/fortement défendue par beaucoup de citoyens dans un réel souci éthique de respect et d'égalité de chacun, elle peut facilement être transformée par les plus malins et les mieux lotis au départ en un mode de domination aussi sauvage, brutal et cruel pour l'individu (si ce n'est davantage) que la loi de la jungle guidée par le seul instinct de survie et de conservation de l'espèce (bref elle peut perdre une grande part, voire la totalité de ses potentialités humanistes).

On voit donc aisément qu'une organisation sociale humaniste et démocratique est par essence un bien très précieux pour tous, mais aussi très fragile, puisque c'est le résultat d'un équilibre instable que chacun doit contribuer à établir entre deux forces très contradictoires, entre deux intérêts à première vue très opposés.

Pour qu'une telle organisation sociale puisse s'instaurer en profondeur et résister aux nombreuses forces antagonistes qui la mettent chaque jour en péril, elle doit à notre sens être *proposée à l'école* à partir d'explications laïques qui montrent que *si a priori intérêt privé et intérêt général s'opposent souvent, ils peuvent aussi se rejoindre dès qu'on organise la vie collective dans ce but.*

Mais nous sommes assez persuadés aussi que, pour que ces explications ne demeurent pas de simples « bonnes paroles », pour qu'elles aient une réelle portée éducative, il est impérieux qu'elles soient corroborées et non infirmées par les pratiques quotidiennes de la classe ou de l'amphi.

A notre sens, c'est l'expérimentation même dans la durée de règles de vie communes permettant de trouver un bon équilibre entre les besoins particuliers de l'individu et les besoins du groupe, qui peut le plus sûrement amener nos interlocuteurs élèves/étudiants à une intério-

risation effective et durable de cette idée fondatrice d'une démocratie humaniste, « l'idée de bien commun ».

A l'inverse, on peut craindre partout (à l'école comme ailleurs) que toute présentation dogmatique, autoritaire et coercitive des règles de vie scolaire/universitaire ne produise le plus souvent que des accords fictifs prêts à être rompus dès que la coercition s'atténue. (On dit souvent que « la peur du gendarme est le début de la sagesse », il y a du vrai dans cela, mais quand cette sagesse ne repose que sur ce type de peur, dès que le gendarme s'éloigne, le sujet donne libre cours aux pires folies égocentriques qu'il a réprimées un temps par peur de la sanction et non par un choix raisonné reposant sur une expérimentation de son intérêt propre bien compris comme devant s'intégrer à l'intérêt général.)

Pour qu'une telle éducation débutant à l'école puisse se maintenir et se consolider au delà de l'école, il nous semble donc indispensable de *faire davantage appel au cœur même de l'enseignement à un désir de solidarité, d'échange et de coopération entre pairs, de réelle confraternité dans les apprentissages plutôt qu'à une volonté de réussite et de puissance individuelle et/ou à la crainte d'une sanction en cas de manquement ou d'échec.*

Les expériences que nous avons pu mener à différents niveaux de la sixième à la préparation à l'agrégation ou avec des moniteurs de différentes disciplines effectuant leur thèse semblent toutes montrer que *lorsqu'un professeur arrive à installer et à faire vivre dans la durée un principe de « débat scientifique »* dans sa classe ou dans son amphi, non seulement il amène ses interlocuteurs à comprendre différemment les savoirs, mais *simultanément il les initie à travailler ensemble en respectant les valeurs démocratiques et humanistes les plus fondamentales, en particulier celles du respect de soi et d'autrui en tant que sujets pensants* : s'obliger à faire des propositions dignes d'intérêt pour ses pairs, écouter les remarques et propositions de ces mêmes pairs en partant du principe qu'ils ne disent pas « n'importe quoi ! », mais simultanément en ne « lâchant rien » au niveau des raisons (si on n'est pas d'accord, on le dit et on explique où et pourquoi !) sont des pratiques intellectuelles et sociales qui permettent à un groupe de personnes de fonctionner en synergie en indiquant à chacun comment être à la fois original et créatif mais aussi solidaire ; on apprend à concourir efficacement à la réalisation d'un projet commun sans pour autant vouloir dominer le groupe ou au contraire renoncer à exister soi-même en tant que personne propre.

B) La double responsabilité du professeur dans cette affaire.

On peut se dire, bien sûr, que ce n'est pas le travail du professeur que de se charger de cette éducation à l'humanisme et à la démocratie et on peut aussi estimer qu'en invitant le professeur à se préoccuper non seulement de transmettre les savoirs mais aussi des valeurs humanistes et démocratiques, on est une fois encore en train de charger un peu plus la barque de l'école et de la faire craquer sous le poids d'attentes sociales trop fortes.

Notre sentiment est que bien entendu on ne peut exiger d'un maître qu'il fasse tout cela, et surtout exiger qu'il le fasse comme nous le proposons, mais nous pouvons néanmoins témoigner de ce que nos expérimentations nous ont montré à ce sujet : celui ou celle qui choisit d'assumer cette tâche éducative supplémentaire en exploitant une didactique type « débat scientifique », alourdit effectivement le poids de sa responsabilité propre par rapport à

la réussite et à l'échec de ses élèves/étudiants, *mais cela n'alourdit pas forcément au bout du compte le poids psychique de sa propre charge de travail de professeur, de sa propre responsabilité éducative.*

En effet, quand le professeur s'efface dans le débat pour donner plus de responsabilité intellectuelle à ses interlocuteurs, *il se prive volontairement de la satisfaction narcissique d'être celui qui sait, montre et explique mieux que tous les participants*, mais il ne se sacrifie pas pour autant, il est loin de perdre sur tous les tableaux quant à ses besoins narcissiques propres, quant à sa propre satisfaction intellectuelle de professeur !

A notre avis, ce professeur n'est pas perdant dans ce changement de rôle, car quelle facilité dans la gestion de son autorité sur le groupe n'obtient-il pas, à quelle satisfaction intellectuelle ne parvient-il pas quand il observe que son organisation didactique permet à ses élèves/étudiants d'accepter collectivement (sans avoir recours à la carotte des récompenses ni à la menace de sanctions) les règles de vie commune assez strictes qui sont nécessaires à une prise de parole d'élève/étudiant qui soit à la fois libre, réellement contradictoire et qui reste audible et centrée sur le sujet de l'étude !

Actuellement exercer l'autorité de maître dans une classe ou un amphi est souvent une charge très lourde qui peut absorber une bonne part des énergies du professeur et du temps d'enseignement. Cette charge se trouve considérablement allégée et le stress qui l'accompagne diminué quand le professeur constate qu'à part quelques légers rappels à l'ordre toujours nécessaires pour calmer/relancer le jeu quand la situation s'emballe/s'enlise, ses élèves/étudiants respectent de plein gré et assez spontanément cette discipline stricte de vie commune, et qu'ils le font non pas par crainte d'une sanction, mais par réel respect mutuel et confraternité entre pairs et par l'intérêt propre que suscite en eux la découverte du sens profond de savoirs a-éthiques et a-démocratiques en soi. (Nous avons personnellement des souvenirs extraordinaires de séances, fatigantes bien sûr mais pas du tout épuisantes, qui ont pourtant duré plusieurs heures d'affilée avec des sixièmes, des terminales ou en préparation à l'agrégation. Ces cours se sont parfois prolongés ainsi, parfois même la veille des vacances, non pour la performance, ou pour réviser dans l'urgence un examen ou concours, mais tout simplement parce que c'était un bonheur de travailler ensemble de cette façon et de prolonger d'un commun accord la séance de cours si par chance on disposait des locaux et d'un créneau horaire ad hoc).

A l'inverse, quelles difficultés rencontrons-nous en tant que professeur et quelles déceptions éprouvons-nous, quelle immense fatigue ne nous tombe-t-elle pas dessus aussi après coup quand il faut effectuer cet enseignement dans une classe ou un amphi où l'atmosphère est morose, lourde, voire hostile car la majorité des élèves/étudiants ne coopèrent ni entre eux, ni avec nous, ne se respectent pas, parce que tout dans l'ambiance de la classe ou de l'amphi ignore/rejette les valeurs éthiques et démocratiques que nous mettons en avant ici.

En particulier, si dans un tel climat peu confraternel le groupe classe ou amphi n'est pas très homogène dans son rapport au savoir, quelles difficultés éprouvons-nous alors à les intéresser tous sur un même sujet d'étude : dès qu'on se préoccupe des uns, on ennuie ou on perd les autres.

Par contre, dès qu'un contrat de type « débat scientifique » est accepté, des élèves/étudiants assez différents peuvent néanmoins arriver beaucoup plus facilement à s'enrichir de leur hétérogénéité (il faut bien entendu que ces différences de savoir et de niveau ne soient pas si gigantesques qu'il devienne pratiquement impossible d'établir au bout d'un

temps un socle minimum de savoirs communs, qu'il soit impossible de trouver un langage commun adapté à l'étude envisagée).

Nous reviendrons dans le chapitre 3 de la deuxième partie qui traite de la « nécessité » d'une forme de débat scientifique dans l'enseignement, sur ces différents aspects à propos desquels s'interpénètrent l'épistémologique, le didactique, le social et l'éthique. Nous essayerons alors de voir dans quelle mesure ce principe est compatible avec l'école (de la maternelle à l'université) telle qu'elle est conçue et fonctionne aujourd'hui.

IV) Quels obstacles à la réalisation de ce projet ambitieux ?

Reste effectivement un obstacle de taille à tout cela : ***si comme nous, vous ne croyez pas trop aux miracles pédagogiques***, vous pouvez vous douter qu'une didactique prétendument aussi efficiente que celle que nous vous proposons ici ne va pas se laisser facilement apprivoiser et mettre en acte.

En effet, les difficultés que nous rencontrons régulièrement pour arriver à mettre nous-mêmes en pratique dans nos propres enseignements ce que nous proposons de réaliser ici de façon assez théorique et les obstacles sur lesquels nous butons quand nous tentons d'aider des collègues (jeunes ou moins jeunes) qui adhèrent à ce projet à s'y mettre eux aussi, nous montrent chaque jour que ce principe du « débat scientifique » n'est jamais simple (et encore moins simpliste du type « il n'y a qu'à... ») à mettre en pratique à bon escient et que de plus les difficultés se cumulent quand on débute.

Premier obstacle : pour le professeur, un changement radical qui ne peut le plus souvent s'appuyer sur un vécu d'élève.

Un des obstacles majeurs pour lancer les premiers débats est que, n'ayant le plus souvent jamais été enseigné soi-même de cette façon, n'ayant jamais vu non plus de collègues enseigner ainsi, il est difficile de s'y mettre véritablement tout en gardant assez de distance pour pouvoir s'observer soi-même avec objectivité, pour arriver à détecter si on change véritablement ou si, sous des apparences de changements extérieurs importants, on garde en fait le même comportement (très directif) face à l'énonciation du savoir et à la prise en compte de la parole de l'élève.

Dans ce changement, ce qui est radical tourne autour de la question cruciale suivante : ***arrive-t-on ou non à donner plus de responsabilité intellectuelle, à « dévoluer » une plus grande responsabilité scientifique à nos élèves/étudiants ?***

La réponse est loin d'être évidente car, s'il faut pour atteindre cet objectif de plus grande responsabilisation des élèves/étudiants leur donner plus souvent la parole pour qu'ils fassent des propositions et puissent en débattre, cela ne suffit pas, bien malheureusement ! On peut instaurer un climat en classe ou un amphithéâtre qui permette au groupe des élèves/étudiants d'être

très vivant : les élèves prennent facilement la parole et répondent très volontiers aux sollicitations du professeur. Mais ce caractère vivant de la classe ou de l'amphi qui est a priori positif ne garantit absolument pas pour autant que les différentes interventions des élèves/étudiants correspondent pour l'essentiel à une effective prise d'initiative et de responsabilité de leur part sur la pertinence et la vérité des assertions qui sont mises en discussion. En effet, peut-être que ce qui guide la recherche et les initiatives des élèves/étudiants repose toujours principalement sur une recherche de conformité aux attentes du professeur (que veut-il nous faire dire, nous faire découvrir en posant cette question et/ou en ne répondant pas à cette autre ?). Rien n'est moins évident que de débusquer ces complicités qui s'établissent de fait entre certains élèves et leur professeur et qui font que ces élèves privilégiés devinent/précèdent les attentes du professeur même quand celui-ci croit clairement cacher son jeu !

Quand on est juge et partie pour observer les modifications de son comportement de professeur, il n'est pas facile de trouver des points de repères permettant de revisiter bon nombre de préjugés et de réflexes didactiques hérités de ses études et de ses propres enseignements classiques qui interdisent (surtout si on est bien installé depuis fort longtemps dans le métier) de « lâcher prise » pour arriver à donner une véritable responsabilité intellectuelle à des élèves/étudiants, donc à des sujets épistémiques qui ignorent en grande partie ce sur quoi on leur demande d'avoir un avis fondé!

Or ce passé didactique, il faut pouvoir l'objectiver pour le mettre à distance, car le plus souvent il ne nous aide pas à entrer dans la cohérence nécessaire entre intention et action pour permettre à cette didactique et cette éthique particulières de la construction du sens de porter réellement leurs fruits.

Deuxième obstacle : pour nous, auteurs de cette synthèse, ne pas arriver à faire ressortir les « vraies raisons » du changement

Toutes les considérations précédentes sont autant d'indicateurs pour nous, auteurs de cette synthèse, qu'il est extrêmement important d'arriver dans les pages qui suivent (en alternant d'un côté la description naïve et événementielle des pratiques et de l'autre une théorisation de ces pratiques) à partager le mieux possible avec vous les « vraies raisons » qui permettent à cette utopie du « débat scientifique » de devenir une réalité efficace dans une classe ou un amphi ordinaire.

Il importe en particulier de ne pas vous donner des raisons sans profondeur épistémologique, i.e. de ne pas vous livrer seulement les « raisons sur lesquelles on se met vite d'accord » parce qu'on ne peut être « contre », alors que ce ne sont pas elles qui de façon déterminante font que le « débat se met en place et ouvre l'accès au sens profond des savoirs » : comment d'un côté ne pas vous cacher involontairement le noyau dur de ce qui nous permet de réaliser tout cela dans nos propres classes et amphi, comment ne pas vous le cacher tout simplement parce que nous ne sommes pas encore arrivés à l'identifier clairement et/ou à le décrire assez objectivement, comment d'autre part, vous faire partager l'enthousiasme que l'on ressent tous quand on perçoit la possibilité d'opérer des changements positifs bien réels en matière de compréhension profonde du plus grand nombre et comment alors ne pas de ce fait tomber dans le piège d'un prosélytisme qui vous abuserait sur la facilité ou l'efficacité de tel ou tel procédé qui fonctionne (nous ne cherchons pas à vous mentir bien sûr !), mais qui ne fonctionne peut-être... pas aussi simplement, pas aussi automatiquement que nous le décrivons ?!

En d'autres termes, pourquoi donc et sous quelles réelles conditions acceptables pour un professeur et pour ses élèves/étudiants, cette philosophie/technique du « débat scientifique » permet-elle effectivement à beaucoup d'élèves et d'étudiants de changer assez radicalement d'attitude pendant le cours pour arriver alors à se saisir du sens profond de savoirs fondamentaux dont la complexité les dépasse habituellement quand ils les découvrent à partir d'une didactique plus classique ?

Si le « débat scientifique » représente un changement radical de didactique qui n'atteint sa pleine efficacité que lorsque le professeur l'instaure comme une **pratique coutumière de la classe** ou de l'amphi et arrive, de plus, à installer cette pratique de débat **en grande complémentarité avec les moments beaucoup plus magistraux** de son cours (et non en opposition avec le cours magistral), il ne faudrait pas laisser entendre pour autant que cette transformation didactique peut s'effectuer du jour au lendemain sans passer par des moments chaotiques de retour en arrière et d'assez grande incohérence.

Devant la difficulté d'expliquer la vraie nature du changement proposé, nous avons pensé que le recours à l'histoire de l'émergence et de la construction très pragmatique de cette théorie pouvait être un outil supplémentaire de prise de sens permettant de repérer les points clefs.

Comme on peut s'en douter, cette philosophie et cette technique du « débat scientifique en cours » ne se sont pas mises en place d'un coup, nous avons beaucoup tâtonné, nous n'avons pas tout inventé, nous nous sommes souvent trompés et nous continuons à le faire (moins souvent nous l'espérons) ; nous n'avons pas trouvé immédiatement la cohérence globale qui assure l'efficacité de cette didactique, cohérence qui nous permet aujourd'hui d'arriver assez souvent à redresser, in vivo, la situation didactique quand, suite à des erreurs de préparation ou de gestion du débat ou pour des raisons assez conjoncturelles et imprévisibles, le groupe classe ou amphi s'empêtre dans un débat qui se bloque ou tourne en rond, s'enferme dans un débat qui ne conduit pas du tout les élèves/étudiants vers le questionnement souhaité.

En tant qu'initiateur de ce principe et auteur initial de ce texte, je (Marc Legrand) peux dire qu'il y a eu au départ de tout cela des circonstances très particulières de ma propre vie d'élève, d'étudiant et d'enseignant-chercheur qui m'ont forcé dès le plus jeune âge et constamment ensuite sur près de cinquante ans à chercher dans cette direction, mais tout cela s'est développé en grande partie grâce à des événements fortuits, à des rencontres avec d'autres professeurs qui m'ont ouvert d'autres horizons, il y a eu aussi des institutions comme les IREM qui nous ont offert le cadre indispensable pour transformer des recherches informelles/personnelles en recherches collectives plus structurées, il y a eu enfin les éclairages théoriques issus des recherches en didactique (dont nous avons déjà parlé) qui nous ont permis de repenser nos intuitions premières, d'en voir les aspects généraux et génériques et leurs limites, de théoriser nos pratiques et de revisiter nos thèses de façon plus critique.

En rédigeant cette synthèse de ce que nous pensons avoir compris autour du « débat scientifique » (synthèse que nous estimions assez naïvement, au départ, pouvoir réaliser simplement en un an et en une centaine de pages) nous avons souvent observé le phénomène de compréhension suivant : quand, dans nos discussions de groupe de recherche, il nous est difficile d'épingler clairement la raison d'être ou l'importance de tel ou tel choix épistémologique ou didactique que nous avons tendance à effectuer assez spontanément et auquel nous tenons fortement de façon quasi instinctive, **nous avons peu à peu découvert** que c'est bien souvent **en revenant aux faits originaux** qui ont engendré ce choix, aux circonstances

particulières qui nous ont conduits à la prise de conscience du caractère déterminant de telle ou telle option, que **nous comprenions le mieux leurs véritables raisons d'être.**

Il nous a donc semblé qu'un élément important d'explicitation de l'essence même de cette problématique du « débat scientifique en cours » pouvait être de vous faire parcourir très succinctement quelques grands traits de sa genèse, au travers de nos parcours individuels de professeurs-chercheurs-expérimentateurs.

Bien entendu, cette genèse n'est pas à elle seule une justification rationnelle suffisante de nos choix didactiques, en particulier son côté très lié aux personnes que nous sommes, donc en partie très conjoncturel n'en assure pas la cohérence pour autrui et en toutes circonstances (cohérence que nous essayerons par contre de mieux faire ressortir par la théorisation effectuée au Tome II), mais il nous semble que le fait de rappeler les faits originaux décisifs est de nature à mieux faire ressortir l'importance de certains symboles, de certains détails, de certaines nuances caractéristiques de cette transformation de l'état d'esprit de la classe ou de l'amphi, à mieux montrer le caractère très psychologique des changements d'attitudes que cette didactique réclame au professeur d'un côté et à ses élèves/étudiants de l'autre, pour que les débats de la classe/amphi soient de vrais « débats scientifiques ».

Nous vous proposons donc, dans le chapitre suivant, de suivre l'évocation lacunaire et subjective, mais intellectuellement honnête de faits décisifs et de rencontres fortuites avec des personnes ou des théories, qui ont suscité, infléchi, réorienté nos recherches individuelles et collectives et qui nous permettent aujourd'hui de vous proposer un document où s'imbriquent volontairement théorie et pratique, éléments conjoncturels et personnels - donc assez singuliers et subjectifs - et principes généraux à valeur plus universelle.

Tous ces éléments d'analyse ***partent de nos vécus de classe ou d'amphi***, ce qui explique pourquoi nous nous autorisons à rapporter des éléments anecdotiques et conjoncturels, voire par moments très personnels que ***nous nous obligeons néanmoins à mettre à distance*** pour tenter d'en extraire ce qui a suscité des transformations très profondes dans notre vision de l'action d'enseigner et d'apprendre, pour arriver à mettre en exergue ce qui a orienté nos choix sur le « débat scientifique ».

Ces éléments en apparence factuels nous paraissent néanmoins importants à partager avec celui ou celle qui envisage une mise en application de la théorie dans ses propres enseignements car tout cela peut, il nous semble, entrer en résonance ou en forte opposition avec certaines composantes de son histoire personnelle et par suite mieux éclairer la signification de certains choix : aider à en relativiser certains et en pointer d'autres comme plus essentiels !

Le principe du « débat scientifique en cours » doit à notre avis, comme toute proposition pédagogique qui s'avère très efficace pour certains, être regardé comme une théorie bien fondée, mais en partie à reconstruire à partir de ce qu'on est soi-même pour devenir efficace pour soi aussi.

En évoquant succinctement les différents chemins qui nous ont conduits erratiquement vers ce principe du « débat scientifique en cours », nous espérons vous livrer quelques-unes des clefs par lesquelles il devient possible de s'approprier cet outil philosophico-didactique que nous considérons comme à la fois très universel et néanmoins très personnel : pour que l'usage en classe ou en amphi du « débat scientifique » fonctionne, il doit effectivement respecter certaines règles assez strictes et universelles, mais pour qu'il ne devienne pas très vite formel et par suite superficiel ou factice, pour qu'il « sonne vrai » (ce qui est primordial dans la confiance

que les élèves/étudiants lui portent), il faut que la façon dont le professeur engage ses élèves/étudiants à une prise de parole plus sincère que de coutume et la façon dont il s'engage lui-même à traiter cette prise de parole risquée soient à la fois conformes à l'esprit de la théorie que nous proposons ici, mais aussi soient en adéquation avec ce à quoi ce professeur aspire fortement sur le fond et correspondent à ce qu'il est... ou à ce qu'il devient principalement.

En évoquant ces parcours personnels nous réalisons mieux à quel point, tout en gardant un même projet, une même ambition, il nous a fallu beaucoup nous transformer intérieurement pour arriver à plus de cohérence entre intention et action ; nous avons alors tendance à penser que le professeur qui a le plus souvent été lui-même instruit et formé dans une autre vision du partage du sens des savoirs, ne peut réussir durablement dans cette approche didactique très différente que si, peu à peu, il parvient lui aussi à beaucoup se transformer lui-même en profondeur afin que ne s'installe pas à son insu une sorte d'incohérence, un divorce rampant entre intentions et actions, entre ce qu'il déclare vouloir faire et la façon dont il agit en réalité avec ses élèves/étudiants, la façon dont il réagit instinctivement à leurs propositions inattendues.

Le récit de ce qui nous a peu à peu transformés nous-mêmes dans la durée peut alors, nous l'espérons, vous aider à mieux percevoir ce qui dans votre vécu propre vous invite à effectuer une transformation interne et à envisager les chemins qu'il va vous falloir tracer en grande partie vous-mêmes pour vous affranchir d'un conformisme ambiant qui interdit de fait tout vrai changement de paradigme didactique.

Chapitre 2 : Genèse de ce principe

I) Quatre étapes – quatre origines – quatre rencontres déterminantes

Les trois premières sont en un sens très personnelles et conjoncturelles et la suite est beaucoup plus collective et n'a rien de fortuit.

A) Première étape : un vécu scolaire qui cristallise le problème du sens

Paradoxalement le « débat scientifique » que nous vous présentons ici et qui, au delà des difficultés qu'il comporte, offre de grands moments de bonheur (par exemple quand des élèves et leur professeur ressentent une véritable complicité épistémologique au sein d'un débat animé), paradoxalement donc cette organisation didactique trouve son origine et sa raison d'être dans une double souffrance épistémologique et socio-affective.

Il s'agit au départ d'une souffrance d'enfant ou plutôt de jeune collégien qui n'arrive pas à exister en propre dans la classe, à y vivre de façon authentique comme un sujet pouvant penser à sa façon et encore moins partager ce qu'il pense sur le fond. Cet élève ressent souvent la façon dont on souhaite qu'il se comporte face au savoir comme très/trop contradictoire avec ce qu'il est, avec ce qu'il voudrait dire/faire spontanément; très/trop souvent il n'arrive pas à donner un véritable sens (un sens digne d'intérêt) à ce qu'on exige de lui.

Il est par suite un « mauvais élève » qui ne réfléchit pas convenablement au regard de l'institution - ce qu'il ne comprend pas et trouve injuste - car d'un côté il ne fait pas exprès de penser autrement, ce n'est pas en général de la provocation délibérée et que par ailleurs, quand hors de la classe, il pense pour évaluer une situation, choisir, prendre des initiatives et vivre dans l'action, cette pensée-là semble, contrairement à ce qu'on en dit en classe, être très

pertinente et opérationnelle, très convaincante aussi lorsqu'il s'agit d'organiser des jeux ou des activités constructives avec ses pairs !

Ainsi j'ai paradoxalement eu « la chance » de passer par cet état peu enviable de mauvais élève qui m'a ouvert les yeux sur une souffrance de l'école - laquelle, j'en conviens, doit être assez difficile à imaginer tant qu'on ne l'a pas vécue de l'intérieur, « dans ses tripes » !

Depuis cette époque, depuis plus de cinquante ans donc, il m'a constamment semblé que cette souffrance que j'ai initialement ressentie avec force en tant qu'écolier, était subie avec une grande violence par beaucoup d'autres élèves, voire d'étudiants et finissait par être fatale à certains.

En effet

– du côté élèves, contrairement à l'environnement dont j'ai pu bénéficier (mon père étant philosophe, j'ai survécu à l'école comme la plupart des enfants de milieu socioculturel favorisé), les élèves qui ne comprennent pas /n'acceptent pas ce jeu convenu de l'école, qui entrent en dissidence et en révolte contre une activité qui leur semble absurde, sont bien souvent issus de milieux socio-culturels moins favorisés et alors tôt ou tard, ils sont inexorablement éliminés du système scolaire/universitaire car ils échouent énormément aux épreuves classiques (ce qu'ils comprennent et/ou savent faire ne correspond pas à ce qu'on attend d'eux), et ces échecs les humilient tellement que leur présence à l'école leur devient « insupportable » mais aussi pour leurs pairs et surtout pour leurs professeurs.

– du côté professeurs, rares sont ceux qui comme moi ont eu paradoxalement « cette chance » de passer par cet état douloureux de mauvais élève qui leur aurait été, il me semble, très instructif pour eux aussi avant d'exercer ce métier, car cela leur aurait ouvert les yeux sur cet aspect crucial de la réalité scolaire.

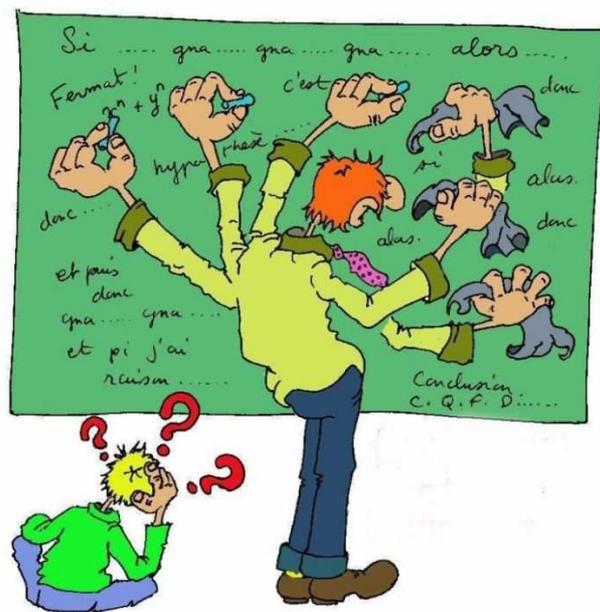
Le problème de toute école est d'avoir tendance à être auto-reproductrice, il est donc bien normal que la plupart des professeurs se recrutent parmi ceux qui ont été, dès le début et tout au long de leur scolarité, de « bons », voire de « très bons élèves » ; ils n'ont donc pas eu à affronter de l'intérieur ce désarroi, ce sentiment d'injustice du « mauvais élève », qui réfléchit et raisonne néanmoins autant que les autres - par moments même beaucoup plus que les autres - mais dont l'activité intellectuelle bien réelle n'est pas (ou très peu) reconnue par l'institution, car il ne raisonne pas spontanément comme les professeurs aimeraient qu'il le fasse, il suit trop sa petite idée, il n'arrive pas à penser ni à s'exprimer immédiatement comme on lui demande de le faire !

Il est par suite assez difficile pour un professeur d'imaginer que derrière cet élève amorphe ou au contraire très perturbateur il y a peut-être d'abord un sujet épistémique qui réagit contre un sentiment de vide épistémologique car il perçoit de fortes contradictions entre ce qu'on dit en classe et ce qu'il vit à l'extérieur de la classe, il y a un sujet rationnel **qui éprouve le sentiment d'être dépossédé de ses facultés de jugement propre** par ce professeur qui lui demande très/trop souvent de seulement l'écouter, de le suivre très aveuglément « pour rien ! », d'accepter donc qu'à certains moments il n'y ait rien d'autre à comprendre que de savoir comment reproduire le geste montré, de savoir comment appliquer une règle dont on n'a même pas pris le temps de montrer le véritable objet (pourquoi factoriser par moments et par contre développer à d'autres?)²³.

²³ Très souvent le professeur dit « *il faut faire ceci...* » ou « *il faut absolument faire ceci...* » ou « *il est nécessaire de montrer ceci...* », alors qu'en fait ceci n'est pas du tout nécessaire en soi, ceci est seulement une condition suffisante pour établir cela et, ce qui est nécessaire, ce n'est pas de faire ceci de très particulier, mais de trouver

Tout cela je l'ai vécu personnellement avec une intensité et une conscience telles en tant qu'élève que plus de cinquante ans plus tard j'éprouve très souvent une certaine tension quand, par exemple, je participe en tant qu'auditeur à une formation, un séminaire ou une conférence et que plus l'exposé avance, plus j'ai le sentiment que sur un même thème, ce même conférencier pourrait nous faire comprendre bien mieux, nous en apprendre bien davantage et de façon bien plus intéressante s'il concevait sa communication autrement. On pourrait comprendre plus et mieux s'il « lâchait prise » sur son acharnement à vouloir tout nous imposer sur un mode énonciatif totalement rationnel (faussement rationnel car formellement convaincant), s'il acceptait donc de ne pas tout dire, de ne pas tout montrer, tout calculer, mais seulement de nous livrer quelques idées clefs dans un réel désir de partager avec nous ce qui est important pour lui, partager confraternellement donc, en sachant qu'une fois mise l'eau à la bouche c'est à chacun de nous qu'il reviendra le soin de creuser plus en détail ultérieurement s'il veut comprendre davantage.

Ainsi, très souvent je constate au bout de quelques minutes que l'essentiel de son discours m'échappe en sens et/ou en intérêt et que je ne vais rien pouvoir en tirer (je ne vois pas ce qu'il veut pointer d'important et où il veut en venir au juste) ; l'essentiel échappe aussi probablement à une bonne part des autres auditeurs et cela, je suis aussi obligé de constater qu'ils l'ignorent le plus souvent en partie, sauf si l'exposé est caricaturalement incompréhensible. Ils ne l'ignorent pas totalement car si je les interroge juste après, la plupart reconnaissent bien volontiers n'avoir pas saisi l'essentiel, mais simplement ils n'en ont pas une conscience forte, ils n'en souffrent pas. Je pense que s'ils acceptaient de le reconnaître vraiment, ils éprouveraient alors le sentiment très angoissant d'une solitude qui risquerait de les écarter dangereusement du groupe, puisque, vu l'attitude externe de chacun, tout le monde ou presque donne l'impression de bien suivre.



Dans une telle situation, si les conditions externes (notamment le fait de ne pas vouloir gêner les quelques auditeurs qui donnent des signes manifestes de bien suivre ce qui se dit) m'interdisent d'intervenir pour tenter de redonner une efficacité à ce qui me semble

une condition suffisante comme ceci pour prouver cela ! (Par exemple pour montrer qu'un quadrilatère est un parallélogramme, il suffit de montrer que ses diagonales se coupent en leur milieu, mais s'il est nécessaire que ses diagonales se coupent en leur milieu pour que ce soit effectivement un parallélogramme, il n'est pas du tout nécessaire de le montrer car c'est ce qui rend cette figure particulièrement intéressante, des tas d'autres critères suffisent à montrer que c'est un parallélogramme. Or quand le professeur a choisi ce chemin démonstratif parce qu'il lui semblait plus efficace que d'autres, il tend, sans forcément s'en rendre compte, à l'imposer comme une nécessité avec son « il faut... », et si alors l'élève s'insurge contre cette fausse nécessité, le plus souvent sa rébellion n'est pas comprise à son niveau épistémologique et est seulement considérée par le professeur comme une faute de raisonnement d'élève, un refus d'écouter, d'apprendre ou de comprendre, il lui est alors le plus souvent expressément demandé, de façon plus ou moins désobligeante, de « réfléchir un peu avant de dire n'importe quoi! »)

être un « ersatz de communication », je me sens très mal à l'aise et si cela dure tout au long de l'exposé, je sens de minute en minute monter en moi une sorte de fureur contre la pauvreté de notre échange : le plus souvent ce professeur ou ce conférencier connaît beaucoup de « choses intéressantes », a compris des aspects délicats d'un problème, a acquis une certaine expérience, un certain métier sur le sujet dont il nous entretient, il a de plus bien préparé ce qu'il voulait nous transmettre et... ce qu'il nous livre de tout cela est, de mon point de vue, infiniment pauvre par rapport à ce qu'il pourrait partager avec nous à condition précisément qu'il ne cherche pas à tout dire, à tout montrer et démontrer, se comportant alors plus comme une sorte de prestidigitateur du savoir.

Il me semble donc que si ce conférencier acceptait de problématiser son savoir en s'adressant à nous comme un sujet épistémique qui veut échanger avec d'autres sujets épistémiques, il nous en dirait beaucoup moins, mais ce sur quoi il forcerait le trait nous permettrait de construire assez de sens pour que nous ayons ensuite envie d'approfondir seuls ce qu'on ne peut absolument pas traiter en compréhension dans le temps imparti.

Ce discours formellement très savant qui me passe alors par dessus la tête est, de mon point de vue, très pauvre sur le fond car à moins que nous ne connaissions déjà l'essentiel de ce qui se dit, il ne s'adresse plus à notre intelligibilité, mais à un simulacre d'intelligibilité : cela va trop vite, fait référence à trop de faits ou connaissances que nous ignorons, entre trop dans les détails techniques, ou des arguties dont les enjeux nous échappent. Cela finit par faire disparaître l'essentiel ou à le mettre sur le même plan que l'anecdotique, ce qui explique qu'au bout de cinq minutes, bien qu'initialement intéressés par le sujet traité et aptes à le comprendre sur le fond, nombre d'auditeurs (souvent la quasi totalité) ne savent plus où on va, ce qui est problématique ou non, ne savent plus vraiment où placer l'intérêt de ce qui est annoncé comme étant la suite logique de ce qu'on vient de voir (et qu'on n'a en fait absolument pas vu puisqu'on n'a rien compris).

En discutant après cet exposé avec ces autres auditeurs qui ont éventuellement bien applaudi, on constate le plus souvent qu'ils n'ont rien compris de plus que vous hormis ceux qui savaient déjà et/ou quelques rares auditeurs qui ont accepté de suivre en pointillé et qui au détour d'une des multiples explications qui leur ont en grande partie échappé, ont néanmoins pu capter dans cette profusion d'informations un élément pertinent qui rejoignait une question profonde qu'ils s'étaient posée auparavant.

Il y a donc très souvent au final de cette rencontre entre « gens compétents » un énorme gâchis didactique, puisque seules quelques rares personnes (parfois aucune) n'ont eu à juste titre le sentiment de ne pas avoir perdu leur temps, d'avoir appris/compris quelque chose d'important!

C'est donc ce sentiment initial de collégien d'inanité, voire d'absurdité de l'acte d'aller apprendre à l'école, ce sentiment d'impossibilité de donner un sens acceptable à ce que l'on faisait en classe, qui s'est peu à peu mué au cours de mes études secondaires et supérieures et ensuite de ma vie d'enseignant-chercheur en une colère ou un sentiment d'exaspération devant l'inefficience d'un très grand nombre d'échanges didactiques auxquels j'étais confronté, qui explique en grande partie le fait que j'ai été d'une certaine façon très tôt et tout au long de ma vie en quête d'une autre façon d'enseigner et d'apprendre.

C'est ensuite mon propre échec didactique le jour où je suis passé de l'autre côté de la barrière et ai tenté de « bien expliquer » à mes élèves (ce que je reprochais à mes professeurs

de ne pas avoir assez fait avec moi) , échec qui m'a obligé à concevoir un autre mode d'échange des idées en classe.

En effet, malgré moi, dès que j'ai enseigné, j'ai bien entendu commencé par reproduire le système (tout en étant persuadé faire autrement) et je me suis immédiatement heurté aux très nombreux non sens et contresens qu'engendrait à mon corps défendant mon monologue de « professeur j'explique tout » s'adressant à des élèves qui n'entendaient plus rien ou presque depuis bien longtemps à ce type de discours, ce qui réduisait à néant l'utilité des multiples tentatives pédagogiques facilitatrices que j'effectuais pour que ces élèves faibles ne se trompent plus et reprennent ainsi un peu confiance en eux.

Mais, par chance à nouveau, des circonstances exceptionnelles (j'étais simultanément professeur, étudiant et surveillant d'internat) me permirent de constater que le comportement de la plupart de mes élèves de sixième qui était, il faut bien le dire, régulièrement assez stupide en cours de math, pouvait par contre être très différent ailleurs et manifester par moments une intelligence qu'on ne pouvait absolument pas imaginer de par leur attitude en cours de math !

Ce constat, assez ulcérant quand on est dans la position de « professeur sauveur » que j'avais spontanément adoptée face à ces élèves en grande difficulté, *m'a forcé* - d'une certaine façon pour échapper à l'absurdité didactique de mes propres actions d'enseignement - *à chercher à exploiter différemment la prise de parole des élèves dans la classe.*

Force a alors été pour moi de constater avec un grand soulagement qu'à partir du moment où ces élèves étaient invités à s'adresser à leurs pairs et à leur dire « *voilà ce que je pense..., et voilà mes raisons... !* », *pratiquement tous ceux qui étaient restés jusque là totalement hermétiques* à mes bonnes explications en terme de sens profond dans cette classe (et probablement depuis bien avant) se « *débloquaient* » peu à peu : ce changement de statut de la prise de parole de l'élève, qui était en fait un **changement de niveau de responsabilité intellectuelle** (mais je ne l'avais pas alors perçu comme tel) semblait ramener dans cette classe les intelligences, la confiance en soi et le goût au travail qui l'avaient depuis bien longtemps désertée.

Nous allons revenir sur tout cela pour en préciser les mécanismes en évoquant « l'aventure de la classe des sixièmes modernes » (classe qui regroupait à l'époque les mauvais élèves de l'établissement) mais avant d'en faire une narration plus détaillée, je voudrais ajouter un dernier point, capital à mon sens dans les choix qui président au principe du débat scientifique en cours et qui ont un lien direct, je pense, avec mon propre passé d'élève à l'école.

Une autre explication personnelle d'une certaine impossibilité d'élève à mobiliser son intelligence et ses énergies pour le travail scolaire :

Ce principe du « débat scientifique en cours » qui s'enracine dans un ***passé scolaire litigieux autour du sens donné à l'école à l'action de « comprendre en classe***», n'a pas pour seule origine une insatisfaction d'ordre épistémologique et didactique car, sur un autre plan plus social et éthique, j'ai le souvenir de ne pas avoir beaucoup aimé non plus en tant qu'élève cette école qui cultivait ***un rapport au savoir plus ciblé sur « la réussite scolaire personnelle »*** que sur une meilleure compréhension individuelle et collective du monde et de notre propre rapport au monde, sur une plus grande ouverture à la coopération dans la vie en société.

Je n'ai pas toujours bien compris l'objectif social de cette école qui nous décrétait facilement solidaires dans ses déclarations solennelles, mais qui faisait souvent en sorte que le dernier de la classe se sente si éloigné du premier par l'évaluation qui était effectuée du travail

individuel de chacun, que cela les poussait plus à se toiser et à se moquer de leurs productions respectives qu'à chercher à échanger sur ce qu'ils avaient compris ou non afin de se faire progresser mutuellement.

Trop souvent donc, je ne me suis pas senti à l'aise dans cette école où les notes et les places avaient une telle importance qu'elles ***nous poussaient plus à travailler chacun pour soi dans une certaine rivalité qu'en nous construisant une communauté de destin autour de l'affrontement d'un même obstacle : la très grande difficulté de comprendre ce que d'autres ont pensé à notre place.***

Cette école ne nous invitait pour ainsi dire jamais à nous comporter de façon autonome dans l'affrontement de cet obstacle tout en restant solidaires, elle ne nous apprenait pas à vivre en confraternité d'apprentissage, parfois même c'était tout le contraire !

En définitive, il me semble que très souvent je ne me sentais pas en harmonie au niveau éthique avec les pratiques de cette école gérée par des adultes qui exerçaient leur autorité en édictant des règles qu'ils ne suivaient pas toujours eux-mêmes et en prônant par le discours des valeurs qu'ils ne respectaient pas en situation, en particulier lorsqu'ils nous encourageaient très fortement à être indépendants, à « être nous-mêmes », mais nous faisaient ressentir après coup qu'ils n'aimaient pas du tout qu'on le soit effectivement; beaucoup ne supportaient pas qu'en acte on manifeste une certaine indépendance de pensée, qu'on manifeste une résistance à changer de pratiques tant qu'on n'avait pas intériorisé les véritables raisons de ce changement.

Très tôt donc, et ce sentiment n'a fait que se renforcer/concrétiser tout au long de ma vie, il m'a semblé que professeur et élèves/étudiants, quand ils étaient réunis dans un but didactique, pouvaient s'imposer d'autres rapports au savoir que celui d'une compréhension très « instantanée » et par suite forcément très formelle.

Dès mes premières années d'études j'ai aspiré à ce qu'on ***puisse, à certains moments au moins, substituer à l'ennui de nombre d'heures d'enseignement où il ne se passe rien ou presque (parce qu'on discute de choses qui ne vous concernent pas), l'intérêt, la dignité et l'immense bonheur d'une authentique recherche de compréhension collective dans laquelle on accepte que la vérité, la clarté, le sens profond sont des objectifs ambitieux à atteindre ensemble et dont on ne s'approche véritablement qu'en acceptant de passer par beaucoup d'erreurs et de moments de naïveté et de désordre.***

Très souvent, il m'est apparu qu'on pouvait remplacer l'humiliation de l'incompréhension vue comme une faute ou un manque de capacités intellectuelles par la dignité de reconnaître que se tromper, manifester qu'on n'a pas vraiment compris est un passage obligé pour apprendre en profondeur.

Progressivement au cours de mes études, j'ai eu le pressentiment qu'on pouvait éprouver une réelle confraternité dans les apprentissages, qu'on pouvait exister pleinement en tant que personne propre si (à propos d'une idée ou d'un problème complexe) chaque membre du groupe était d'abord invité à penser par lui-même ce qui était au cœur de la situation, puis invité à partager ce qu'il estimait pertinent et vrai dans le but non d'imposer son point de vue, mais d'arriver à une certaine communion d'esprit avec les autres membres du groupe grâce à l'organisation d'une discussion éventuellement musclée, mais respectueuse de la dignité de chacun.

Tous ceux qui ont participé à des groupes de travail intellectuel ou manuel, savent qu'un groupe humain qui est riche de personnalités diverses et dans lequel chacun peut

exprimer son avis d'abord à sa façon, puis en faisant évoluer ce qu'il pense et ce qu'il défend dans un débat sincère qui porte sur le fond et non dans une discussion polluée par des jeux de pouvoir, permet à ses différents membres d'éprouver un sentiment de dignité et de responsabilité qui les rend beaucoup plus efficaces dans l'exercice de leurs fonctions respectives, en offrant ainsi de grands moments de bonheur individuel et collectif même quand la tâche est rude.

Mais on observe aussi que cela ne se fait pas tout seul et par miracle; pour que cela soit possible il semble indispensable que le travail collectif soit voulu et organisé de façon à exploiter le plus possible les complémentarités et les synergies qui résultent du respect de la richesse de chaque participant et de leur diversité propre.

En d'autres termes, très tôt j'ai ressenti le besoin de construire avec d'autres une organisation du travail qui permette aux relations affectives qui s'établissent spontanément dans un groupe, d'être beaucoup plus de l'ordre de ce que nous nommerons plus loin « amour-estime authentique » que du type « amour-estime possessif ou au premier degré », lequel pousse davantage les humains à s'instrumentaliser qu'à se faire grandir mutuellement en exploitant leurs différences/complémentarités !

L'organisation du « débat scientifique en classe » que nous présentons ici peut ainsi être vue comme une sorte de réponse à ce besoin de dignité et de confraternité dans le travail, une forme d'initiation, de préparation par l'école à une autre façon de travailler ensemble une fois qu'on est sorti de l'école. Une telle organisation démocratique du travail est par essence beaucoup plus complexe à faire vivre dans le monde du travail qu'une organisation plus hiérarchique et autoritaire, mais il nous semble qu'elle sera d'autant plus facile à mettre en place et à stabiliser dans la vie extra-scolaire que chacun aura pu expérimenter au cours de ses études à quel point il est intéressant, éclairant, enrichissant et productif d'exercer cette forme de démocratie en acte au travail.

Mise à distance de ce vécu personnel

Au delà donc de l'émotion très personnelle et subjective à laquelle se rattachent des sentiments comme la « douleur » ou le « bonheur », précisons un peu mieux ou de façon un peu plus distanciée de quoi il s'agit ici au niveau psycho-affectif, épistémologique et didactique.

Comme nous l'avons précédemment évoqué, dans un cours, dans un séminaire, lors d'une conférence, dès que le propos devient (par nécessité) assez théorique et abstrait et qu'en plus, comme c'est le cas très souvent en sciences, les idées ne s'expriment pas sans être portées par des techniques, voire des calculs, quelques très rares auditeurs (parfois aucun) comprennent encore véritablement l'essentiel du propos de l'orateur au bout de quelques enchaînements déductifs, quelques autres (en général pas très nombreux) ne comprennent plus au bout d'un moment que des bribes et sont conscients que l'essentiel leur échappe, d'autres souvent plus nombreux ne comprennent pas davantage mais ne s'en rendent pas compte car ils ne cherchent pas à trouver de véritables lignes directrices dans l'exposé, ils ne cherchent pas à voir quelles thèses y sont défendues, ils suivent seulement le mot à mot d'un exposé dont ils ne retiendront aucune idée générale, d'autres font semblant de comprendre, quelques-uns dorment, chahutent ou sortent s'ils le peuvent.

Le plus souvent devant cette perte du sens profond ressentie fortement par seulement quelques-uns et subodorée par d'autres, personne ne réagit (n'ose réagir) pour faire cesser cette « grimace de communication », ce non sens d'explications « qui n'expliquent plus rien de façon rationnelle » sauf à celui, celle ou ceux qui n'en ont pas besoin car soit ce sont de « super génies » (rares!), soit ils connaissent déjà !

Nous nous interrogeons ici pour essayer de comprendre le pourquoi de cette passivité assez généralisée qui interdit à chacun d'intervenir ²⁴ pour faire cesser ce qui est en train de devenir d'une certaine façon une communication « absurde » ?

Il semble en pratique que la complicité subtile de posture qui s'établit alors de fait entre le professeur ou le conférencier et ceux qui comprennent, pensent comprendre ou font mine de comprendre, rend le plus souvent inutile, dérisoire, ridicule **la position de celui ou de celle qui est conscient(e) que des éléments cruciaux de sens lui échappent et qui ose alors se démarquer pour le révéler publiquement.**

En effet, celui ou celle qui tente de révéler ce vide de sens prend un risque socio-affectif énorme (excepté s'il est célèbre et/ou réputé être très au-dessus du lot des auditeurs, voire du conférencier) car il perturbe la séance, agace, agresse ce groupe de personnes qui communient en toute tranquillité psychique à la parole magistrale : quelle que soit la forme de cette intervention, le fait de réagir ainsi met directement en cause d'un côté le professeur/conférencier dont les explications ne seraient pas aussi lumineuses qu'espérées, et de l'autre met indirectement en cause le groupe des auditeurs qui croient comprendre et à qui un pair fait brutalement remarquer que ce n'est peut-être pas le cas, que tout n'est peut-être pas aussi simple que ce qu'ils semblaient croire. (Ce pair semble vouloir leur souligner une double « faute » : ne pas comprendre, ne pas s'en rendre compte ou ne pas oser le reconnaître!)

Cet ensemble de personnes devient donc assez naturellement hostile à ce trouble-fête dans la mesure où ce dernier (n'étant ni célèbre, ni forcément très habile dans sa rhétorique puisque précisément il ne comprend plus grand chose) **n'arrive pas à faire ressentir à l'ensemble du groupe le caractère non purement personnel de son incompréhension.** Ce trouble-fête agace énormément car il ne parvient pas à faire entrevoir à tous (professeur/conférencier et « bons auditeurs ») le côté dérisoire et/ou franchement dramatique de la « fausse communication » qui semble s'établir entre tous et à l'insu de (presque) tous.

Celui qui intervient pour expliciter ce sentiment de non communication, de vide de sens d'une relation didactique qui lui semble ne plus s'établir sur le fond, ressent tout cela d'autant plus vivement qu'il tente de l'exprimer ouvertement, et comme le plus souvent il ne trouve aucun écho auprès de ses pairs, cela l'isole, l'éloigne encore un peu plus du groupe, y compris de façon paradoxale de celles et ceux qui éprouvent comme lui ce sentiment mais n'ont pas osé se manifester. En effet, cette intervention les met en danger car elle tend à les questionner sur ce qu'ils ne comprennent pas vraiment, et alors au lieu de profiter de cette occasion pour dire ce qu'ils ressentent eux aussi, ils se croient obligés de nier ce sentiment de malaise profond, pour sauver la face vis-à-vis d'eux-mêmes et de l'assemblée (probablement parce qu'ils se sentent alors de plus en plus coupables de leur propre silence).

24 Dans un séminaire ou une conférence comme dans un cours magistral, il faut être très fort et très sûr de soi pour oser lever la main et dire en gardant sa position d'auditeur « là je ne comprends plus rien, ..., je vais sûrement dire une bêtise, mais... là il me semble que..... ». Quand quelqu'un ose une telle intervention un peu iconoclaste, pendant quelques minutes au moins beaucoup d'auditeurs vont pouvoir se raccrocher au sens du propos de l'orateur, et puis malheureusement au bout de quelque temps, dès que les effets de l'orage se seront estompés, si d'autres questions ne sont pas posées, l'orateur enfin libéré de l'obligation de se faire comprendre d'auditeurs exigeants à ce niveau risque de reprendre son rythme d'exposition effréné.

Le sentiment de néantisation ressenti alors par celui ou celle qui révèle publiquement son incompréhension de fond sans pouvoir en faire partager la consistance épistémologique est proprement insupportable car cet aveu volontaire d'échec l'humilie sans appel, puisqu'il ne parvient ni à faire comprendre à son professeur ou au conférencier, ni à faire ressentir à ses pairs son désir de confraternité qui ici ne peut passer que par un sens partagé.

En effet, ne trouvant aucun écho dans la classe, l'amphi, la salle, de cet aveu d'amour-estime authentique fait au groupe en osant déclarer publiquement « ne pas arriver à comprendre », i.e. en prenant à sa charge le fait « qu'il ne comprend pas » afin d'ouvrir ainsi la porte d'un début de compréhension à celles et ceux qui sont dans la même position intellectuelle que lui, cet élève, cet auditeur se sent alors rejeté, méprisé, mal aimé et injustement jugé; il a mal sur un plan affectif et est très en colère au niveau épistémologique contre lui-même et contre les autres car il se sent totalement impuissant à faire cesser l'absurdité intellectuelle de la situation.

Par suite il n'arrive pas à réprimer la douleur que lui imprime le sentiment d'une absence totale de confraternité pour surmonter cet obstacle d'incompréhension qui mine l'entreprise cognitive du groupe, il peut dans ces conditions déraiper et devenir assez agressif, maladroit et très désagréable.

On est alors en pleine contradiction puisqu'il faut bien comprendre que cette intervention d'un sujet isolé, qui est généralement perçue par le groupe comme une attaque contre le professeur ou le conférencier, une obstruction à la clarté de l'exposé magistral, une perturbation intempestive de la séance, est à la fois une demande sincère d'éclaircissement et un vrai geste d'amour/estime vis-à-vis de ce groupe de personnes.

Cette intervention qui perturbe une « fausse harmonie », n'est pas le plus souvent - comme on a vite tendance à le penser - un acte d'hostilité ou de fanfaronnade de la part de quelqu'un qui chercherait à se démarquer ou à se faire remarquer : elle est d'abord le fait d'un sujet épistémique qui aspire à comprendre véritablement et qui voudrait donc être éclairé pour lui-même, et simultanément et souvent tout autant, elle est le fait d'un sujet social qui supporte mal les malentendus profonds et/ou l'hypocrisie du « faire semblant », un sujet épistémique et affectif qui voudrait donc éclairer ces autres sujets épistémiques qui l'entourent, mais aussi ces confrères qui ne comprennent probablement pas beaucoup plus que lui, mais ne s'en aperçoivent pas ou pas assez ou font semblant de ne pas s'en rendre compte.

Le drame c'est que le plus souvent... il échoue sur les deux tableaux ; et de ce fait, ce groupe qu'il voulait rendre plus confraternel par une compréhension de fond mieux partagée, le renvoie de façon souvent très sévère et méprisante à sa solitude. Ce rebelle a alors tendance à percevoir ce rejet collectif comme disant : « *tais-toi ! ne nous dérange plus ! tu es ignorant ou stupide car tu es le seul à ne pas comprendre ici !* » (la pratique du « débat scientifique » en cours nous a montré que le cas où un seul élève/étudiant ne comprend pas un point essentiel, est... en fait de probabilité quasi nulle).

Pour celui ou celle qui intervient ainsi sans succès avec le désir de rétablir une compréhension commune, de favoriser une confraternité d'idées, la situation qu'il a créée est à la fois absurde et douloureuse car elle le met en position de fauteur d'un trouble qui n'a rien apporté de positif à quiconque : tout le monde est furieux car ni soi ni les autres n'ont ainsi gagné une once de compréhension supplémentaire !

Ce qui est proprement insupportable ici pour ce sujet intervenant c'est de ne pouvoir expliquer les raisons valables qui l'ont empêché de rentrer dans le rang, qui lui ont interdit de faire semblant lui aussi de comprendre.

En effet, *pourquoi ne pas s'être tu comme les autres* puisque, il faut bien le reconnaître, lorsque quelqu'un s'exprime convenablement comme le fait en général un professeur ou un conférencier, *on peut toujours accepter de se dire sans trop tricher avec sa conscience qu'on comprend quelque chose dans le mot à mot* de ce qu'il dit, et de plus, même *si par moments on ne comprend pas tout, est-ce grave au point de prendre le risque de déranger le groupe ?*

Les interrogations de fond du sujet social « élève ou auditeur rebelle » sont ici les suivantes :

- *qu'est-ce qui au delà de cette compréhension du mot à mot (compréhension que j'ai, bien sûr, comme les autres!) me persuade, moi, que l'essentiel du sens m'échappe et échappe probablement à beaucoup ! peut-être à... tous ?*

- *en quoi mon sentiment d'incompréhension globale est fondé sur autre chose que de la bêtise, de l'ignorance, de l'inattention ou de la paresse ?*

- *qu'est-ce qui m'interdit « à juste titre » de faire taire mes frustrations au niveau du sens global afin de pouvoir me re-concentrer comme le font la plupart de celles et ceux qui m'entourent, sur l'écoute du déroulement linéaire des explications qui se suivent une à une dans une logique irréfutable ?*

- *pourquoi me semble-t-il impossible (si on veut respecter nos intelligences) de se contenter ici de la compréhension d'une logique du pas à pas que la plupart des auditeurs semblent accepter si aisément ?*

Cet auditeur rebelle étant de plus en plus isolé n'arrive plus à imaginer les « bonnes » raisons qui poussent ses pairs à ne pas réagir, il se sent alors tellement rejeté en tant que personne propre qu'il a envie de pousser un cri de révolte :

« Tout cela, qui me paraît si important, pourquoi donc ne voulez-vous pas l'entendre !!! »

Celles et ceux qui ont le sentiment de « suivre », ne peuvent pas en général supporter ce type d'intervention iconoclaste, car ils ont tendance à se dire : *« mais quel est donc ce cuistre qui se permet de vouloir nous faire la leçon alors qu'il avoue lui-même ne rien comprendre ! »*.

Si le contrat didactique impulsé par le professeur ne leur dit pas explicitement *« vous devriez écouter ce perturbateur, même s'il se trompe en partie, car vous avez peut-être quelque chose d'important à apprendre, à comprendre au travers de son intervention erratique ! »*, ils ne peuvent écouter en compréhension cette irruption d'une pensée allogène qui les dérange et les dérangera tant qu'ils n'imagineront pas quel profit en tirer.

C'est un des éléments qui nous semblent aujourd'hui déterminants dans le contrat didactique que nous devons instaurer pour que nos débats soient « scientifiques et instructifs » : *non seulement dans ce contrat il s'agit d'autoriser, de favoriser une prise de parole d'élève/étudiant qui revendique en se justifiant une compréhension plus profonde*, mais il s'agit même de faire obligation (d'ordre éthique et non coercitive) d'intervenir à quiconque a trop fortement le sentiment personnel que la communauté

intellectuelle classe ou amphi passe à côté de l'essentiel, se trompe sans s'en rendre compte dans ses préoccupations principales.

Ce contrat réclame alors une réelle confraternité de la communauté, i.e. une attention bienveillante et critique du reste du groupe pour voir ce qu'il y a de légitime ou non, d'éclairant ou d'inutilement complexifiant dans cette contestation (*qui est justifiée a priori si le rebelle est de bonne foi, mais qui n'est peut-être pas totalement juste au niveau épistémologique et il faudra alors le lui faire savoir amicalement mais fermement*), contestation qui même lorsqu'elle est totalement pertinente, dérange a priori toutes celles et ceux qui n'en éprouvaient pas le besoin à ce moment-là.

C'est cet ensemble de sentiments (initialement perçus de façon très confuse) que nous tentons d'analyser ici, qui est - il nous semble - en grande partie à l'origine de nos recherches sur le « débat scientifique en cours ».

*En effet, instituer le principe du « débat scientifique » dans un lieu de communication et de partage du savoir est une façon de manifester la volonté de prendre en compte l'effet de néantisation du sujet propre qui s'abat sur tout élève/étudiant lorsque, sur des savoirs importants et de façon durable, ce dernier **n'arrive pas à comprendre l'essence même** de ce que ses professeurs lui présentent néanmoins comme étant clair, logique, simple, évident..., et qui de plus n'arrive pas à partager non plus les raisons de son incompréhension et ce, ni avec son professeur, ni avec ses pairs (c'est pour cela que ce type de ressenti est, il me semble, plus fort en mathématiques et aussi à certains moments en orthographe qu'ailleurs, car dans ces deux disciplines ce qui est très opaque, voire illogique pour certains, est par contre déclaré évident, de simple bon sens, de pure logique par d'autres !).*

Ce principe du « débat scientifique en cours » a alors pour fonction importante de ne jamais laisser l'élève/l'étudiant s'enfermer dans cette impression terrible (qu'ont souvent ceux qui ne supportent pas l'école et s'y rendent par suite insupportables) qu'on refuse de respecter leur conscience propre, qu'on n'est pas prêt à les écouter lorsqu'ils perçoivent clairement qu'il y a quelque chose de plus important à comprendre que ce qu'on leur montre, lorsqu'ils ont le sentiment qu'on leur cache l'essentiel. Le « débat scientifique » est donc un dispositif didactique dans lequel l'élève/l'étudiant qui ne comprend plus et en est conscient, **ne doit pas se sentir immédiatement en danger d'être exclu par le groupe classe ou amphi** en tant que sujet pensant parce qu'il craint de ne pas arriver à faire comprendre à cet entourage social (professeur et pairs) la validité de ses propres interrogations sur le sens.

Le plus souvent dans un enseignement classique, l'élève/étudiant **n'arrive pas** (en partie parce qu'il ne dispose pas du recul nécessaire et du vocabulaire ad hoc, mais aussi et surtout en raison du contrat didactique) à **faire comprendre à son entourage, sans paraître très prétentieux** ou un peu dérangé d'esprit, **que ce qu'il entend/comprend présentement dans ce cours ou ce T.D.** (la technique seule/le mot à mot) **est en fait très pauvre au niveau épistémologique** par rapport à ce qu'il aspirerait à entendre/comprendre sur ce sujet précis, **par rapport à ce qu'on pourrait tous entendre/comprendre** si on se donnait une plus grande exigence collective pour aller à la recherche du sens profond.²⁵

25 J'ai entendu plusieurs fois des physiciens, des informaticiens ou des chimistes de haut niveau dire : « *j'aimais bien les maths de l'école car c'était souvent ludique et je réussissais très bien aux différentes épreuves, mais en réalité je n'ai jamais fait véritablement de math !* ». Il me semble qu'en disant cela ces scientifiques avaient conscience qu'au delà du jeu mathématique très convenu de l'école, cette discipline était porteuse d'un autre regard, d'un regard beaucoup plus profond sur le monde, mais ils percevaient avec une pointe de regret qu'ils n'avaient jamais été franchement invités à entrer dans cet autre jeu qu'ils percevaient avec un peu de recul comme exclusivement réservé à la petite élite de ceux qui se reconnaissent entre eux comme de « vrais

Cette « néantisation du sujet élève par défaut de partage du sens principal » qui peut avoir des effets très sévères sur un plan humain individuel ***ne peut, nous en avons l'intime conviction éthique, être acceptée comme une nécessité du didactique*** (comme une sorte d'effet collatéral de l'instruction de masse) car précisément, quand l'école accepte ce niveau de rejet du sujet psychologique et épistémique, c'est pratiquement toujours vers une sorte d'exclusion sociale qu'elle se dirige. ***En effet, le sentiment de ne pas pouvoir exister à l'école en tant que personne propre²⁶, transforme tout le désir de comprendre du sujet élève/étudiant en refus d'apprendre dans ce cadre, ce sentiment négatif retourne alors toutes les énergies de coopération de cet élève ou de cet étudiant avec son professeur d'une part et avec le groupe social dans lequel il est immergé, en un besoin irrépressible d'hostilité et de rébellion contre une institution qui ne veut pas le reconnaître en tant que sujet propre et en tant que sujet pensant. Si cet élève n'est pas de milieu socio-culturel favorisé, il est quasiment certain d'être tôt ou tard exclu de cette école.***

mathématiciens ».

26 Ce sentiment a été tel pour moi à certains moments de mes études, notamment en mathématiques, que si je n'avais pas été de milieu socioculturel favorisé, mes propres études n'auraient probablement jamais dépassé le stade de la classe de cinquième. A la fin de cette classe je réclamais à mon père de quitter l'école pour aller travailler chez le marchand de cycles, car après avoir aidé ce mécanicien à réparer ses vélos pendant les deux mois d'été, je trouvais que ce travail délicat « réparer un vélo » était infiniment plus instructif et sensé que de me plier à des injonctions scolaires dont je ne percevais pas le véritable objectif; trouver la raison d'une vraie panne me semblait beaucoup plus intéressant que de jouer en classe le jeu de la compréhension de surface de faux problèmes sans véritables enjeux !

Pour être juste, il me faut néanmoins reconnaître que quelques (trop rares) moments me montraient que cet immense malentendu dans le partage du sens qu'on retrouvait un peu partout à l'école n'était une nécessité ni de l'école ni de la discipline : il y avait par moments des comportements de certains professeurs, notamment en mathématiques et sur certains sujets, qui permettaient qu'un autre type de climat de compréhension s'installe en classe.

Un jour, par exemple, le prof de math étant malade, son collègue remplaçant nous dit : « Pour ne pas déranger votre professeur dans le déroulement de ce qu'il fait actuellement avec vous (des calculs), nous allons faire autre chose ensemble. Nous allons faire de la Géométrie : je vais vous montrer comment avec trois cas d'égalité des triangles vous allez être capables de faire des « démonstrations ! ». On ne savait pas trop ce qu'était un axiome ou une démonstration, et certains cas furent introduits par ce prof. de façon très peu convaincante avec un calque, mais ce ne fut pas très grave car ce dont je me souviens très bien c'est que pendant quinze jours la classe se mit à jouer avec fièvre à ce jeu de la démonstration qui nous avait été annoncé : le professeur mettait un résultat simple en challenge de démonstration et les élèves devaient alors imaginer les triangles et les cas d'égalité adaptés susceptibles de déduire ces résultats à partir de ces principes de raisonnement.

Comme on devait prendre des initiatives (imaginer des triangles ad hoc) et qu'on pouvait proposer nos solutions très librement (ce n'était pas notre professeur et il nous donnait le sentiment qu'on avait le droit de se tromper sans vergogne), je crois me souvenir que pendant une quinzaine de jours nous avons un peu oublié d'être les élèves traditionnels que nous étions en cours de mathématiques et nous nous sommes mis véritablement à jouer, à faire des math. en cours de math. en étant très heureux et fiers d'être les acteurs principaux de ce jeu.

Ce « jeu » n'eut malheureusement pas de suite, car lorsque notre professeur principal revint et que nous le sollicitâmes pour pouvoir poursuivre ces jeux géométriques, il nous fit comprendre que ces démonstrations avaient été une sorte d'interlude en son absence mais ne nous concernaient pas directement car elles n'étaient pas au programme de la classe de cinquième.

B) Deuxième étape : les « sixièmes modernes »

Ou encore, ce que va m'apporter de très décisif, la triple casquette d'étudiant à la fac et de surveillant d'internat ayant à occuper momentanément la fonction de maître-auxiliaire d'une classe de sixième regroupant les élèves faibles de ce niveau.

De façon assez paradoxale (en réalité pour suivre les conseils de mon père philosophe qui m'avait fait aimer cette discipline mais simultanément m'avait souvent reproché au cours de mes études secondaires de rejeter a priori les mathématiques, de ne pas vraiment chercher à voir ce qu'il y avait à comprendre derrière cet élément clef de compréhension du monde) je choisis d'étudier à l'université ces mathématiques qui m'étaient presque toujours apparues à l'école comme la discipline la plus dénuée de sens concret, de philosophie et d'intérêt propre.

J'envisageais cette expérience comme une incursion limitée dans le temps dans un monde qui n'était pas le mien et ne devait pas le devenir ; en fait je voulais essentiellement tenir compte de l'avis jusque là ignoré de mon père, avis qui allait fortement contre mon désir personnel, mais qui prenait à ce moment précis une certaine force émotionnelle puisque ce père venait de mourir ; toutefois je considérais ce choix en un sens paradoxal comme une simple parenthèse dans ma vie professionnelle et ne comptais absolument pas aller bien loin dans cette direction scientifique car, venant de passer un bac philo qui m'avait beaucoup intéressé, je comptais bien poursuivre en deuxième cycle universitaire par une licence de philo ou de psycho.

Par ailleurs, comme je devais en raison de ce décès gagner maintenant ma vie, j'exerçais simultanément les fonctions de surveillant et de maître-auxiliaire dans un collège.

Cette triple position, d'un côté d'étudiant ayant à affronter à la fac le problème de la construction d'un sens profond de théories mathématiques et physiques difficiles auxquelles mes études antérieures ne m'avaient absolument pas préparé, **d'un autre côté de surveillant d'internat** pouvant observer le comportement des élèves hors de la classe (cour de récréation, repas, dortoir, jeux en forêt, etc.) et **enfin de maître-auxiliaire ayant à enseigner les mathématiques** en classe de sixième à une partie de ces élèves que je voyais quotidiennement évoluer hors de la classe, **va m'obliger à regarder le problème de la construction du sens en cours autrement qu'avec les critères un peu trop naïfs sur lesquels j'étais resté** (i.e. si le professeur aime et respecte ses élèves, se met à leur portée, sait les écouter et se donne la peine de donner des explications profondes faisant bien le lien entre théorie et pratique, à terme il va toucher l'intelligence de ses élèves et sauf exception la plupart se sentiront concernés et auront envie de comprendre de mieux en mieux !)

Sans l'avoir organisé rationnellement j'ai eu ainsi pendant deux ans la chance de pouvoir observer simultanément les deux faces de la médaille du sens - comprendre et se faire comprendre - en occupant tour à tour et quasi simultanément la position d'étudiant et de professeur.

Je découvris alors peu à peu avec émerveillement et stupeur ce à quoi je ne m'attendais absolument pas :

- émerveillement d'un côté quand je découvris la possibilité de construire un sens profond très consistant à ces mathématiques abstraites qui m'étaient presque toujours apparues auparavant comme tombant du ciel, comme hors de portée de mon entendement en terme d'outil de compréhension du monde,

- stupeur quand je découvris également que j'échouais moi aussi (comme mes maîtres) en grande partie à faire comprendre l'essentiel au plus grand nombre de mes élèves de sixième dès que cela devenait un peu trop complexe, théorique et abstrait, et ce malgré tout le cœur que je mettais à l'ouvrage, la profusion d'explications, de métaphores et d'exemples que j'inventais et proposais à mes interlocuteurs pour concrétiser les choses, pour les aider à donner du sens à ce que je pensais néanmoins ne pas pouvoir leur enseigner autrement que doctement.

De façon plus précise :

Les premiers cours à la fac furent un véritable assommoir, car mes professeurs prolifiques à cette époque en maths modernes assez « bourbakistes » me semblaient énoncer des théories formelles sans objets en exploitant une langue étrangère que je ne comprenais absolument pas. Ayant fait ce choix personnel d'étudier les mathématiques et la physique en passant par une filière réputée difficile, choix que mes anciens professeurs de sciences m'avaient très fortement déconseillé en m'assurant non sans moquerie un échec programmé (à cette époque la filière Mathématique Générale et Physique avait un taux de réussite de 7% , ce qui n'émouvait personne), je serrais donc les dents et me cramponnais fortement au bastingage pour ne pas être emporté par la tempête de l'absurdité.

C'est ainsi que je parvins peu à peu par une quête forcenée du sens (que j'expliquerai un peu plus loin) à apprivoiser, puis à comprendre, et finalement à aimer en soi ces mathématiques que je rejetais jusque là : au bout d'un an d'intenses efforts, esquissant pour moi-même une forme de « débat scientifique interne », j'arrivais à passer brutalement du statut d'étudiant en déroute totale dans tous les contrôles de connaissances en mathématiques au statut d'étudiant dominant largement ces difficultés dans ces mêmes épreuves d'examen sans que cela puisse s'expliquer de façon très rationnelle en terme de didactique classique.

Ainsi, quand l'occasion m'en fut donnée en deuxième année, j'acceptais avec joie d'enseigner les maths à la classe de sixième moderne du collège où j'étais surveillant, car cette classe était réputée difficile puisqu'elle regroupait les élèves en échec dans toutes les matières mais surtout en maths ; j'acceptais avec d'autant plus d'enthousiasme qu'ayant trouvé pour moi le moyen de rendre ces mathématiques intelligibles et intéressantes, j'étais persuadé pouvoir changer radicalement l'état de fait désastreux du non sens que j'avais vécu personnellement comme élève et que j'imputais alors, à tort, au seul manque de souci d'explications de mes professeurs.

Je découvris alors avec stupéfaction au bout de quelques semaines qu'il m'était bien plus difficile de faire comprendre à des élèves de sixième des mathématiques qui me paraissaient très simples, évidentes et quasi concrètes que d'arriver à donner pour moi-même sens aux mathématiques difficiles et abstraites qu'on m'enseignait très proprement à la fac mais auxquelles mes études de philo ne m'avaient pas du tout préparé.

En réalité, ces mathématiques universitaires que je commençais à comprendre de mieux en mieux m'étaient néanmoins toujours aussi inaccessibles au niveau de leur sens profond pendant les cours magistraux de la première année et j'avais souvent l'impression que c'était également le cas pour mes camarades, même si cela ne semblait pas les troubler autant que moi (en discutant avec eux je me rendais souvent compte qu'ils ne comprenaient pas plus que moi le fond du problème et parfois moins encore ; par contre, en ayant un meilleur bagage technique, ils arrivaient à résoudre plus convenablement la grande majorité des exercices et problèmes qu'on nous donnait à faire et qui ne nécessitaient pas forcément de passer par une réelle compréhension de fond).

Ce qui me permit de sortir du tunnel de ma propre incompréhension de fond, ce fut une sorte de défi existentiel : j'étais venu faire une propédeutique sciences pour comprendre les maths, je n'allais pas en sortir aussi « bête » vis-à-vis de cette discipline que j'y étais entré ! (la physique ne me posait pas du tout les mêmes problèmes de sens, excepté quand elle m'apparaissait comme outrageusement mathématisée).

Sans vouloir dramatiser à outrance je peux néanmoins affirmer que « comprendre véritablement ces maths qu'on m'enseignait à la fac était un peu devenu pour moi une question de vie ou de mort ! »

Par suite, quand je revenais d'un cours où malgré une compréhension principalement de mot à mot j'avais néanmoins vu poindre une idée importante, je me disais : si tu devais expliquer à quelqu'un d'autre qui n'a pas suivi ce cours ce qui est essentiel ici, que lui dirais-tu ?

Et là, ça pouvait prendre des heures, voire des jours, pour certains concepts comme l'intégrale des semaines, avant de trouver un ensemble d'arguments qui « tiennent », avant d'avoir élaboré une présentation que j'aurais osé fournir à des pairs qui n'auraient pas pu suivre ce cours, une explication qui à mes yeux leur aurait permis de comprendre le sens global et pas seulement la suite des actions, qui leur aurait permis de trouver assez naturelle cette suite d'actions : *qu'est-ce qu'on a résolu comme problème principal ? où étaient les vraies difficultés ? et pourquoi était-il bien normal de s'y prendre ainsi pour les dépasser ?*

De la même façon je ne regardais pas les exercices et problèmes qu'on nous donnait à chercher comme un devoir à bien effectuer pour avoir une note décente, je m'obligeais à ne pas les traiter comme des tâches à accomplir en se laissant guider par l'enchaînement des questions, mais plutôt comme une façon de tester ma bonne ou mon insuffisante compréhension de la théorie.

Mais ce dispositif (se mettre en position d'expliquer à autrui) qui m'avait formidablement aidé à construire du sens là où je n'en voyais pas ou peu en cours ou en T.D. lorsqu'ils se réduisaient à une simple énonciation/mise en application de la théorie, me semblait (à tort) inutilisable avec des élèves, surtout de jeunes élèves qui n'avaient aucun appétit d'apprendre, qui ne manifestaient aucun désir apparent de comprendre et n'avaient aucune confiance en eux (ils avaient totalement intériorisé leur position de mauvais élèves incapables de comprendre sur le fond - ce que je retrouverai dans toutes les classes réputées faibles que j'observerai ensuite).

Ainsi, quand je redevenais le professeur de la classe de sixième, même si je me reconnaissais d'une certaine façon dans l'incompréhension de mes élèves et préparais par suite avec beaucoup de soin mes cours en essayant de m'appuyer le plus possible sur des situations de la vie ordinaire pour accrocher leur attention, je n'arrivais pas ou très peu à trouver le moyen de les garder avec moi au niveau du sens dès que cela devenait un peu plus mathématique.

Je pense aujourd'hui que sans le vouloir et sans en être conscient bien entendu, je m'adressais à eux sur un ton sympathique mais faussement confraternel (ton auquel ils étaient très sensibles puisque dans les autres disciplines ils se sentaient assez méprisés par les autres prof. plus expérimentés que moi et qui, eux, enseignaient aussi aux sixièmes « classiques » et ne cessaient de comparer les sixièmes modernes aux sixièmes classiques avec lesquels, disaient-ils, il était beaucoup plus agréable, intéressant,... productif de travailler ; se sentant

reconnus par le jeune professeur que j'étais, mes élèves essayaient de jouer mon jeu mathématique le mieux qu'ils pouvaient, mais... n'y arrivaient pas !)

Ce ton que j'adoptais était d'apparence confraternel puisque j'abordais en toute simplicité et sans les terroriser des problèmes qui les touchaient directement dans leur vie ordinaire, mais sans hypocrisie de ma part il était faussement confraternel dans la mesure où j'exigeais en fait d'eux qu'ils soient d'entrée de jeu dans une problématique scientifique quand il s'agissait de mathématiser les situations de vie concrète sur lesquels je voulais les faire réfléchir.

Mais eux, ils étaient résolument dans une problématique de vie ordinaire qui était à cent mille lieues de ma problématique scientifique : ils donnaient donc un sens concret aux situations concrètes que je leur soumettais, mais malgré mes très nombreux appels du pied ils restaient dans une logique de vie ordinaire qui ne les conduisait pas « naturellement », comme je l'espérais, vers un questionnement plus scientifique.

Et plus on avançait dans l'année et plus ce malentendu fondamental, cette non confraternité de sens m'apparaissait avec plus de force, sans que je puisse rien tenter d'efficace pour l'empêcher de s'amplifier.

Cette autre « souffrance » donc - ne pas arriver à se faire comprendre sur l'essentiel de ce qu'on explique, ne pas arriver à installer une confraternité de pensée avec ceux qu'on veut instruire - est, je crois, ressentie par tous les professeurs, mais surtout par ceux qui déploient des trésors d'imagination pour bien expliquer, pour ne pas laisser leurs élèves s'isoler derrière un mur d'incompréhension, et qui, s'ils ne se bouchent pas les yeux, perçoivent confusément au moment où ils enseignent et constatent souvent très violemment au moment où ils interrogent que **pour ce qui est essentiel, lorsque le savoir mis en jeu est un tant soit peu plus profond et complexe, le plus important de ce qu'ils ont décortiqué et voulu expliquer sur le fond n'a pas été bien entendu, reçu, compris par la majorité et parfois par la totalité de leurs élèves**, par ceux-là mêmes qui leur avaient donné l'impression de très bien les suivre quand eux, professeurs, donnaient des explications détaillées, complètes et lumineuses.

Devant l'absurdité de la situation didactique dont je me sentais en partie responsable (comme je n'enseignais pas aux sixièmes classiques, je n'étais pas tenté comme mes collègues des autres disciplines de penser comme eux que les sixièmes modernes étaient « des ânes bâtés dont on ne pouvait rien tirer » ; au contraire, en tant que surveillant j'observais que la plupart de ces élèves qui avaient effectivement en cours de math un comportement « assez stupide » étaient néanmoins intelligents et créatifs ailleurs, par exemple pour organiser entre eux des jeux dans la cour de récréation !), **je fus obligé** au bout de quelques mois de me dire qu'il fallait **radicalement changer mon comportement de professeur et que je pouvais/devais prendre des risques puisque nous n'avions plus rien à perdre à faire autrement.**

En effet, ce qu'on faisait ensemble en cours ne rimait à rien, ne servait à rien : plus je leur mâchais le travail, plus je les gavais d'explications et leur demandais ensuite de bien appliquer ce que je venais de leur montrer en détail, plus cela semblait conforter la majorité d'entre eux à conserver le comportement passif et pavlovien qui leur évitait de réfléchir par eux-mêmes (« *vous ne nous avez pas tout dit, pas tout montré donc on sait pas faire !* » semblaient-ils me dire à chaque nouvelle erreur) ; à chaque erreur recommencée, à chaque demande de la même explication, j'avais l'impression de remonter un tas de sable bien sec car régulièrement la classe devait retourner à la case départ si on voulait à nouveau se comprendre un peu.

Ce qui nous ouvre la porte du partage du sens, ce fut l'observation du fait inopiné suivant :

habituellement quand un élève proposait une réponse à une question ou une solution à un problème, j'avais tendance (comme tout professeur qui veut que le cours avance et qui souhaite encourager et non humilier) à bien entendre et à arranger - pour le pousser en avant - tout ce qui me semblait assez correct et pertinent, et par contre à beaucoup moins bien entendre, voire à faire disparaître discrètement sans trop insister tout ce qui me semblait très peu pertinent ou trop grossièrement faux.

Cette pratique « bienveillante » avait pour conséquence de presque toujours mettre en avant quelques élèves en leur laissant croire comme aux autres de façon abusive qu'ils avaient tout compris ou presque puisque leur solution arrangée par moi était adoptée et montrée en exemple, mais par comparaison j'avais tendance à faire disparaître toujours un peu plus les élèves qui étaient « à côté de la plaque » et voyaient bien que ce qu'ils proposaient n'était pas très intéressant puisque très rarement entendu et repris par leur professeur. Et de ce fait j'observais que ces derniers intervenaient de moins en moins et étaient de plus en plus passifs et inintéressés.

Pour ne pas me retrouver dans la position du professeur qui ne fait plus véritablement cours qu'à une poignée d'élèves, je me dis qu'il fallait utiliser autrement la prise de parole de ces élèves qui comprenaient un peu mieux que les autres.

A certains moments donc, au lieu d'interroger ces « bons élèves » pour qu'ils redisent ce qu'ils avaient entendu et continuer à trier et à arranger tout ce qu'ils proposaient pour ne garder que ce qui était conforme, ***je me suis obligé à les laisser davantage développer leurs propres solutions en les poussant à s'adresser à leurs camarades avec leurs mots et leurs procédures à eux pour expliquer à la classe ce qu'ils considéraient comme pertinent et/ou vrai*** ; et de ce fait comme ce qu'ils disaient n'était plus censé être la répétition fidèle de ce que je venais de leur enseigner, ***je me suis moins senti obligé d'effectuer en permanence ces subtiles retouches du professeur*** qui font avancer le cours puisqu'elles rendent plus correctes les formulations des élèves, mais peuvent à l'insu de tous en changer profondément le sens.

Je me suis moins senti dans l'obligation du professeur - garant de la pertinence et de la vérité de tout ce qui s'énonce en classe - de rectifier ou de porter un jugement sur tout ce que ces élèves proposaient, dans la mesure où je constatais que moins j'intervenais directement sur tout, et plus cela semblait piquer l'intérêt des autres élèves qui se sentaient alors en droit d'adopter une attitude beaucoup plus réactive et critique.

Et là je remarquais que le plus souvent cette classe « molle », sans aucun appétit de savoir, changeait fortement de comportement, elle semblait enfin se réveiller : en particulier les plus passifs, les plus « bouchés » comme on dit habituellement, devenaient plus participatifs, plus susceptibles d'avoir envie de réagir à propos de ce que j'avais déjà dix fois expliqué auparavant et qu'ils appliquaient sur le champ, mais semblaient avoir totalement oublié quelque temps après (dans ces débuts de débats ils commençaient à livrer les raisonnements personnels qui justifiaient qu'ils n'appliquent toujours pas ce que je leur avais dix fois montré et qu'ils avaient à chaque fois accepté momentanément sans résistances).

Je les voyais enfin oser dire ce qu'ils pensaient au fond et je prenais ainsi peu à peu conscience de la force du mécanisme psychologique suivant : dans la mesure où c'étaient des pairs qui s'exprimaient et qu'à certains moments ils se trompaient lourdement (car sans

chercher à les faire trébucher pour voir ce qu'ils avaient réellement compris, je les aidais beaucoup moins qu'avant en ne rectifiant plus subrepticement leurs maladresses), ***ce qui était proposé à tous comme une solution ou une explication était suffisamment peu assuré, maladroit et non cautionné par le prof. pour que chacun se sente en droit de dire sans ambages « je ne suis pas d'accord car... », ou « c'est trop compliqué, on ne comprend rien à ce que tu fais ! ».***

Observant donc l'efficacité de ce que nous appellerions aujourd'hui ce « changement inopiné de contrat didactique », je cherchais par tâtonnements successifs à délimiter les règles de ce nouveau contrat.

Au bout de quelque temps la nouvelle coutume didactique semi-explicite était pragmatiquement devenue la suivante :

- Quand un élève manifestait par des « moi, moi, M'sieur ! » le désir intempestif de s'exprimer sur un sujet, je lui demandais d'expliquer à ses camarades et non à moi ce qu'il avait trouvé ou compris ou ... pas compris.

- Pendant que cet élève parlait, j'essayais de ne pas trop intervenir sur le fond (ne serait-ce que par des mimiques (dés)approbatrices) et simultanément j'exigeais que les autres élèves l'écoutent, ne discutent pas entre eux, ne l'interrompent pas intempestivement pour donner leur avis, mais demandent la parole pour intervenir contradictoirement s'ils le souhaitaient !

- Quand un débat contradictoire s'instaurait, j'essayais de le réguler en demandant aux élèves de se répondre et non de juxtaposer leurs thèses, de préciser un peu plus ce qu'ils voulaient dire et je faisais écrire ou écrivais moi-même au tableau pour le préciser ou le symboliser ce qui (juste ou faux) me semblait être en jeu dans le débat et me paraissait très important à mettre au clair.

Des pré-débats scientifiques se mirent en route dans cette classe de sixième dans la mesure où j'arrivais maintenant à leur faire parler ***de mon sujet d'études avec leurs idées à eux exprimées d'abord avec leurs mots et très progressivement retraduites dans mes mots et formulations de professeur de mathématiques.***

Par ce procédé mes élèves commençaient à me montrer enfin leur véritable façon de penser, surtout en cas de litige entre eux ; je pouvais donc commencer à travailler ces façons de penser en grande partie erronées mais enfin exprimées, alors que jusque là elles étaient restées totalement insaisissables et transparentes pour le professeur « je vous explique tout et vous allez tout comprendre » que j'étais : *tant que c'était moi, et moi seul qui fournissais les « bonnes explications », ils ne « pensaient pratiquement pas en propre ! » et ce qu'ils pensaient réellement, je n'y avais pratiquement pas accès.*

C'est seulement à ce moment-là que je me rendis réellement compte que depuis plusieurs mois nous faisons en principe des math. ensemble en cours de math. mais qu'en réalité nous n'adoptons pas du tout les mêmes règles et conventions logiques ; dès qu'il fallait faire une inférence, dès que nous utilisons un « si ..., alors ... », nous n'étions pas du tout sur la même longueur d'ondes et il nous fallut pendant un temps cesser toute activité mathématique traditionnelle de la classe de sixième pour faire de la logique ensemble, c'est-à-dire pour donner une signification commune à ce « si ..., alors ... » , pour faire apparaître la « nécessité » qui caractérise les idées et les propositions du mathématicien.

Ce n'était pas de « la logique pour faire de la logique » mais une logique assez explicite pour faire la différence entre la logique de la vie quotidienne assez souple et parfois ambiguë et

dont les contradictions fréquentes sont régulées/atténuées par la référence au contexte et une logique scientifique plus stricte mais indispensable pour que nous puissions garder une confraternité d'idées quand le contexte ne joue plus le rôle de régulateur principal du sens.

Par exemple, dans la vie ne pas dire ce que l'on sait pertinemment est un mensonge par omission volontaire, donc une « faute », mais pas du tout en logique scientifique ! Ainsi écrire que « π est inférieur ou égal à 4 » est une proposition exacte en mathématiques qui peut être très utile pour faire simplement des majorations, mais en logique quotidienne c'est effectuer une affirmation trompeuse ou mensongère si celui qui l'énonce sait pertinemment que $\pi = 3,14116\dots$ donc ne sera jamais égal à 4 !

Et surtout en sciences le « Si A , alors B » ne sous-entend pas la réciproque « Si non A , alors non B » et c'est essentiel de bien distinguer les deux, alors que dans la vie courante c'est au contraire la réciproque qui est très souvent sous-entendue, voire dans certains cas c'est elle qui est visée au niveau du sens principal.

Par exemple : l'incitation d'un enfant à la participation au rangement par la promesse d'une récompense « *Si tu ranges ta chambre, tu pourras aller faire un tour de vélo !* » sous-entend sans la moindre ambiguïté que « *si on ne la range pas,...* » on ne pourra pas faire ce tour de vélo ! Mais en bonne logique, « si la chambre n'est pas rangée », tout est possible, et ce ne sera seulement pas très éducatif que de donner la récompense alors que rien n'a été fait.

Et c'est encore pire quand l'incitation par la récompense est remplacée par l'incitation par la menace « *Si tu ne ranges pas ta chambre, tu ne pourras pas aller faire un tour de vélo !* ». Si l'enfant range sa chambre et qu'on lui interdit néanmoins d'aller faire son tour de vélo, il s'insurgera « *tu n'es pas logique !* » ; en fait, on sera bien en règle avec la logique mais très malhonnête intellectuellement !

Nous avons besoin d'explicitier ces différences entre deux logiques qui ont chacune leur champ d'application si nous voulions mettre fin au caractère indéfiniment contestable des débats contradictoires qui font trop référence au contexte personnel de chacun des participants.

Par ce retour à une logique plus dure, nos débats pouvaient enfin devenir plus scientifiques en ce sens que chacun pouvait exprimer avec sincérité ce qu'il pensait, mais par contre **on admettait de moins en moins la présence simultanée d'une chose et de son contraire** (dans une logique de vie courante il est assez normal que dans une discussion un peu vive on tombe souvent sur des contradictions irréductibles puisque deux personnes distinctes se posant la « même question » ne partent pas toujours des mêmes prémisses, les réponses qu'elles apportent peuvent différer, voire être opposées sans que cela relève d'une contradiction logique : nous sommes seulement en présence de deux affirmations différentes qui traitent apparemment d'un même problème mais qui concernent en réalité deux problèmes distincts).

En sciences en général et en mathématiques en particulier, on essaye avec la notion de modèle de partir des mêmes prémisses afin d'arriver à établir des propositions dont la vérité n'est plus attachée à l'interprétation que chacun pourrait légitimement faire des hypothèses, des conclusions et des principes valides. Si ce travail initial est bien fait, on ne supporte plus d'obtenir par le raisonnement ou l'expérience « une chose et son contraire » (base du raisonnement par l'absurde).

Il me fallut plus de trois mois et des circonstances exceptionnelles (en particulier avoir les mêmes élèves en cours de maths et dans des jeux collectifs) pour me rendre compte en ayant recours à ce dispositif de « pseudo-débat scientifique en classe » que cette philosophie de

la science n'était absolument pas partagée par mes élèves de sixième, d'où la présence en classe de propositions récurrentes « absurdes » dès que ces élèves étaient invités à dire ce qu'ils pensaient vraiment; « *absurdes* » *dans ma logique scientifique* qui me semblait a priori (d'évidence de prof) devoir faire force de loi en cours de mathématiques, *mais propositions récurrentes pas du tout absurdes dans leur logique propre, i.e. dans la seule logique qu'ils pouvaient pratiquer en mettant un sens effectif à leurs propositions.*

Alerté par ce qui s'est passé cette année-là, je découvrirai plus tard avec toujours autant de stupéfaction que ce type d'absurdité logique (une chose et son contraire) ne gêne pas non plus nombre d'élèves du lycée et aussi d'étudiants de première, de deuxième ou de troisième année d'université et au delà.

Notre analyse actuelle de ce dysfonctionnement didactique est la suivante : cela ne gêne pas vraiment les élèves (même les « bons ») de rencontrer à l'issue d'un raisonnement apparemment bien construit « une chose et son contraire »; en tout cas très peu réagissent spontanément pour se révolter contre cette absurdité logique et ce bien qu'ils fassent depuis de nombreuses années des études en sciences dites dures, parce qu'habituellement en cours de maths comme dans les autres cours de sciences un élève/étudiant n'est qu'exceptionnellement invité à trancher entre des propositions contradictoires (et dans ce cas le plus souvent on l'avertit que les propositions sont contradictoires). Ce qu'on demande principalement à un élève/étudiant en cours c'est de suivre avec attention les démonstrations que le professeur lui propose pour établir ses théorèmes, i.e. d'observer l'agencement bien ordonné d'arguments réputés non contradictoires (puisque proposés par le professeur), qui prouvent logiquement (c'est ce que le professeur affirme) la vérité de propositions elles-mêmes déclarées pertinentes et vraies par le professeur avant de les démontrer.

Le bon élève qui suit consciencieusement depuis des années les enchaînements logiques valides que ses différents professeurs de sciences lui enseignent a donc rarement été en présence de propositions à caractère scientifique contradictoires, des propositions donc en apparence valides qu'il doit découvrir par lui-même comme contradictoires et sur lesquelles il lui faudrait ensuite trancher par le seul recours à la logique.

Je découvrirai donc ultérieurement quand j'enseignerai à l'université que même en troisième année de licence de mathématiques et au delà il est indispensable de (re)faire au cours du premier mois d'enseignement ce que j'avais été contraint de réaliser au bout de trois mois avec mes sixièmes modernes pour sortir de l'enfermement des propositions logiquement absurdes : ré-asseoir les règles de base de la logique mathématique de façon à ce qu'existe un réflexe de non contradiction dans le groupe de travaux dirigés ou dans l'amphi. (i.e. pour que dès que deux propositions contradictoires se télescopent dans un débat, un étudiant, une étudiante le fasse immédiatement remarquer au groupe et qu'un très court débat permette alors de convenir unanimement que l'une au moins de ces deux propositions est inacceptable : convenir donc que le groupe classe ou amphi va devoir impérativement trancher par le raisonnement s'il veut poursuivre l'étude en restant dans une rationalité scientifique !)

Mais pour l'instant, revenons à nos élèves de sixième moderne : force m'a été de constater qu'une fois la classe munie d'une logique sommaire mais non élastique, les débats qui s'y déroulaient entre les élèves devenaient plus intéressants, plus passionnés, et surtout de moins en moins « téléguidés » par le seul professeur et sans cesse recadré par lui seul.

Lorsque de tels débats s'engageaient, on ne voyait plus passer le temps, les élèves auparavant totalement inintéressés par les maths ne se précipitaient plus hors de la salle aux premières vibrations de la cloche, et beaucoup se mettaient vraiment à chercher à résoudre les

problèmes que je leur donnais à faire seuls entre deux leçons pour revisiter ou prolonger la discussion qui s'était engagée en classe : peu à peu l'esprit de la classe changeait radicalement, des résultats très encourageants, très surprenants même pour certains élèves totalement bloqués depuis le début de l'année apparaissaient ; nous étions de plus en plus souvent heureux de faire des maths ensemble en nous comprenant mieux, et parfois quand c'était matériellement possible, nous en faisons activement beaucoup plus d'une heure de suite !

On peut donc dire que ce principe du « débat scientifique en cours » que nous vous présentons ici, qui avait trouvé son origine dans ce besoin impérieux que j'avais ressenti dès le plus jeune âge en tant qu'élève de pouvoir exprimer sincèrement, dans une certaine confraternité d'apprentissage, ce que l'on pense sur le fond pour parvenir à donner sens à ce qu'on vous enseigne, a trouvé ensuite son fondement organisationnel avec cette classe de sixième moderne qui me montrait à moi devenu professeur que ce désir, cette volonté du professeur qui m'animait (comme tant d'autres) de se faire entendre/comprendre auprès de ceux à qui je m'adressais ne suffisait absolument pas pour arriver à rejoindre au niveau du sens profond celles et ceux (la très grande majorité des élèves) qui étaient dans un tout autre monde intellectuel que moi : pour commencer à nous entendre, à nous comprendre en classe il fallait que nous construisions ensemble un autre monde, « la communauté intellectuelle classe », dans laquelle chacun pourrait exprimer avec sincérité ce qu'il pensait mais avec une volonté commune d'arriver progressivement à parler dans une même langue, dans une même logique et en partageant des principes communs.

Cette expérience des sixièmes modernes me montrait avec force que *ces sujets scolaires qui, dans une didactique traditionnelle, nous apparaissent comme des « élèves perdus »* (ceux qu'on ne parvient plus à rejoindre par l'explication directe, qui ne veulent plus vraiment nous entendre, qui ne veulent plus apprendre car ils sont persuadés ne pas pouvoir rejoindre le professeur dans des préoccupations qui ne sont pas les leurs, ces élèves qui sont et se sentent dans un autre monde !), *on peut néanmoins les atteindre à nouveau en classe si on organise pendant le cours un espace d'échange des idées dans lequel ils peuvent dire ce qu'ils pensent en propre, avec leurs mots à eux, à propos de sujets d'étude qui ne sont pas les leurs a priori, mais le deviennent peu à peu par cet échange.*

Une fois entrés collectivement dans la problématique du professeur en confrontant leur pensée à celle de leurs pairs, ils vont alors pouvoir progressivement apprendre (pour mieux se faire comprendre de leurs pairs) à s'exprimer dans une langue et une logique qui ne sont pas spontanément celles qu'ils emploient dans la vie ordinaire.

Ce principe est donc né de la découverte que *la bonne logique du professeur n'a rien d'évident pour toutes celles et tous ceux qui ne sont pas d'emblée dans la problématique du prof.* et que cette logique ils ne peuvent pas se l'approprier formellement, par simple monstration du professeur et en répétant des gestes de professeur qui ne font pas sens pour eux ; non... cette bonne logique, pour qu'ils se l'approprient, il faut « qu'ils en aient besoin », il faut qu'ils aient à s'en servir pour échanger des idées qui font sens pour eux mais qui se « véhiculent très mal » avec la « logique du quotidien ».

En définitive, si à l'origine de ce principe du débat scientifique *il y a d'abord un sentiment personnel* d'inutilité, d'absurdité de devoir aller en classe pour étudier des savoirs sans signification profonde, une réelle souffrance *devant l'incommunicabilité de ses idées propres en classe, il y a très vite ensuite le constat que* (certainement en partie pour ne pas souffrir de cela et par peur d'être ridicules) *beaucoup d'élèves, beaucoup d'étudiants*

(voire par moments une proportion non nulle de professeurs et de chercheurs) **ne cherchent plus vraiment à comprendre ce qui est essentiel**, ne cherchent pas véritablement à construire du sens sur ce qu'on leur présente/sur ce qu'ils présentent.

Pour certains élèves cette absence de signification profonde les fait irrémédiablement échouer et les écarte définitivement de tout accès au théorique et à l'abstrait, mais d'autres au contraire arrivent à apprendre de façon très formelle et souvent, grâce aux indications du contrat didactique, parviennent à très bien réussir aux différentes épreuves de contrôle.

Ce qui nous interroge ici c'est que ces « bons élèves » qui arrivent à « bien apprendre » théories, algorithmes et concepts sans significations profondes pour eux, éprouvent de moins en moins, d'année en année, le besoin de construire ce sens profond des savoirs qui ne leur est pas indispensable pour donner un sens à des apprentissages qui ont trouvé un autre sens, très réducteur du sens des savoirs, celui de réussir aux examens et concours.

C'est à ce niveau, il me semble, qu'un problème scolaire individuel rejoint un problème collectif fondamental : celui de l'école comme creuset de la démocratie et de l'humanisme.

Comme je viens de le suggérer, si l'on cherche à faire un pas de côté, à mettre à distance ces difficultés scolaires et cette souffrance personnelle, on s'aperçoit vite que si elles ne s'extériorisent pas le plus souvent comme je le fais ici²⁷, elles sont beaucoup plus partagées qu'il n'y paraît a priori, et que précisément, pour s'en protéger, élèves, étudiants, professeurs et chercheurs acceptent sans trop se révolter une terrible perte d'ambition épistémologique, humaniste et démocratique autour de la valeur du savoir.

En effet, prendre l'habitude à l'école de ne plus chercher à comprendre sur le fond, se contenter d'une compréhension formelle, apprendre à suivre aveuglément les règles qu'on vous donne pour parvenir à montrer tout de suite qu'on sait faire ce qu'on attend de vous afin de ***ne pas avoir à souffrir d'être vu tel qu'on est*** (i.e. incapable de penser immédiatement « comme il faut » ce que d'autres ont mis très longtemps à faire émerger) ***n'est-il pas d'un côté très réducteur du savoir***, et de l'autre ne traduit-il pas un grand mépris de ce que nous sommes en propre en tant qu'humains, n'est-il pas ***une sorte de démission collective institutionnalisée de notre capacité à penser les problèmes par nous-mêmes pour assumer nos responsabilités de citoyen et d'humain ?***

Cette sorte de démission collective devant l'obligation de penser par soi-même ce qui a été théorisé par d'autres et qui est en principe enseigné pour être (re)conceptualisé par un sujet citoyen qui veut comprendre le monde dans lequel il vit, démission qu'on apprend à effectuer, qu'on entretient à l'école pour obtenir à bas coût les bons taux de « réussite » scolaire que la société exige, nous apparaît chaque jour comme un peu plus dramatique sur un plan éducatif et social.

En effet, tout indique que la force d'une démocratie, la réelle consistance de cette organisation de la société pour promouvoir une forme d'humanisme repose en bonne partie sur la qualité de la rationalité que chacun de ses concitoyens s'est construite, ***sur la capacité du plus grand nombre possible d'entre eux à pouvoir distinguer entre deux formes d'obligation de nature radicalement différentes :***

- ***d'un côté l'obligation qui résulte de l'héritage culturel*** qui tend à imposer des vérités toutes faites, intangibles, des nécessités incontournables souvent par seul

²⁷ Encore que des livres comme « Chagrin d'école » de Pénac relatent avec combien plus de brio le même type d'expérience et de souffrance.

conformisme, par force des habitudes, par manque d'imagination, par soumission à l'autorité,

- ***d'un autre côté, l'obligation qui résulte du travail de la raison***, qui est souvent moins tranchée, moins absolue, moins immédiate et qui débute en commençant par oser revisiter, oser questionner ces fausses obligations issues des préjugés, du conformisme et de la docilité servile, et qui permet à terme de supplanter ces obligations externes quand elles sont infondées ou deviennent inadaptées par la force de raisonnements partagés qui tendent à nous montrer chaque jour davantage que les vérités universelles sont rares et souvent fragiles et que peu de choses s'imposent comme évidemment justes et nécessaires pour tous.

Ce pas de côté nous incite à nous poser quelques questions cruciales

L'histoire récente, notamment celle du siècle passé, nous montre à maintes reprises le comportement très lâche d'un grand nombre de citoyens de pays dits démocratiques et cultivés, qui par docilité, par inaptitude à réagir, se sont soumis très/trop facilement, très/trop rapidement aux injonctions injustes, abusives, criminelles de leurs dirigeants quand ces derniers les ont jetés dans les folies meurtrières de guerres imbéciles et fratricides ; l'histoire nous montre aussi que face à ces incitations à la lâcheté et au déni d'humanité d'autres citoyens ont fait preuve d'un courage, d'une intelligence et d'une capacité de résistance extraordinaires, la question ou plus exactement les questions cruciales sont les suivantes :

- est-ce uniquement une histoire de personne et/ou de culture familiale ?
- quel rôle éducatif l'école peut-elle jouer dans cette affaire ?
- l'école favorise-t-elle ces lâchetés criminelles d'adultes incapables d'aller contre ce qu'on leur dicte d'objectif, en habituant l'élève-citoyen à biaiser²⁸ dès son plus jeune âge avec sa conscience ?
- ou bien au contraire l'école, en travaillant au quotidien la valeur honnêteté intellectuelle, pose-t-elle de solides garde-fous contre le déni d'humanisme qui guette tout citoyen en situation de crise ?

Sans prétendre une seconde que le « débat scientifique » pourrait régler à lui seul des problèmes aussi complexes, disons que c'est probablement une façon de prendre très sérieusement en compte cette tâche d'initiation à être des citoyens du monde et des humanistes (initiation à laquelle l'étude des savoirs à portée universelle devrait, il nous semble, fortement contribuer).

A l'origine du principe du débat scientifique il y a ensuite (grâce en particulier aux « sixièmes modernes »)

– ***la découverte de « la non toute-puissance, voire par moments de l'impuissance totale de l'explication magistrale »*** : dès que quelques élèves, et a fortiori la majorité d'entre eux, sont trop éloignés de la problématique du professeur, ce fossé initial de sens ne peut que continuer à se creuser et à s'élargir si le professeur, pour arriver à se faire comprendre à tout

²⁸ L'élève apprend à l'école à biaiser sur des problèmes beaucoup moins immédiatement dramatiques certes, mais des problèmes où il prend néanmoins l'habitude de tricher en conscience, comme le fait également son voisin, avec ce qu'il pense véritablement !

prix, explique de plus en plus, découpe, métaphorise, illustre à profusion, simplifie à outrance, car ce faisant il ne fait que renforcer chez ses interlocuteurs cette sorte d'irresponsabilité intellectuelle qui leur ferme totalement la porte du sens et de la pertinence vis-à-vis de tout ce qui se discute de théorique et d'abstrait en classe. Il y a donc la découverte que plus le professeur mise sur la force de ses seules explications magistrales, moins il a de chances de ramener une majorité de ses interlocuteurs vers une compréhension de fond de ce qu'il veut leur enseigner de conceptuel et de consistant.

*- Il y a aussi la découverte d'indices prometteurs d'une possible vraie construction de sens, d'une prise d'intérêt non factice et non éphémère de la part de tous les élèves, y compris ceux qui sont initialement en grande difficulté et très réfractaires car ayant complètement intégré le fait qu'ils sont des mauvais élèves hors de la problématique de la discipline étudiée : ces « sixièmes modernes » m'ont montré jour après jour que **dès que l'élève est amené à prendre des initiatives intellectuelles, est invité à assumer une certaine responsabilité sur la vérité et la pertinence** de ce qui se dit en classe, dès qu'il est en obligation d'avoir à assumer la force et la pertinence de son propre propos devant ses pairs et pas seulement devant son professeur, **tous ces obstacles à la construction du sens et à la recherche de la pertinence** que sont le manque d'intérêt pour ce qui est abstrait et difficile d'accès, le refus de s'investir dans tout ce qui ne semble pas vous concerner directement **commencent à s'estomper.***

*On observe alors que **le peu d'appétit pour comprendre**, pour penser par soi-même un savoir trop étranger à ses préoccupations immédiates **commence à se muer chez l'élève devenu auteur et créateur d'idées en un désir d'exister à travers et au moyen de l'étude d'un savoir qui lui est totalement étranger au départ et qui devient progressivement son propre savoir.***

*On constate ainsi que **l'ennui d'étudier, la peur d'échouer peuvent se muer en un réel désir de savoir, un vrai bonheur de ne plus être stupide, de comprendre enfin véritablement. !***

C) Troisième étape : le cours un peu spécial de M. Chabauty

Ce cours, je l'ai d'abord vécu comme très pénible voire insupportable jusqu'au moment où il s'est transformé en un immense moment de bonheur et de compréhension car il a été pour moi l'occasion d'une triple révélation :

- de ce qu'étaient les mathématiques fondamentalement,
- de ce que je pouvais être en les pratiquant,
- des conditions de la possible rencontre directe de l'élève avec les savoirs théoriques dans un enseignement essentiellement magistral, des conditions d'un possible partage d'une épistémologie dans un cours.

Ce cours m'a permis d'entrevoir qu'une relation didactique même très magistrale pouvait offrir d'intenses moments de compréhension et de bonheur si des circonstances exceptionnelles donnaient aux élèves/étudiants la possibilité de se poser assez de questions

pour pouvoir entrer dans la problématique du professeur avant que celui-ci n'énonce les résultats, ne donne les preuves.

Je parle de bonheur car il est franchement merveilleux de découvrir qu'il n'est pas impossible en tant qu'élève/étudiant d'éprouver à juste titre le sentiment ***d'entrer en pleine connivence avec la pensée d'un spécialiste*** lorsque celui-ci, ayant acquis un rapport intime avec un savoir, en ayant dégagé pour lui-même un ou plusieurs aspects essentiels, ayant développé une philosophie à son sujet, arrive en tant que professeur à ***dévoiler à ses interlocuteurs la façon dont tout cela l'aide à penser.***

Pour revenir à l'anecdote, disons qu'il s'agit pour moi, Marc Legrand, étudiant en troisième année d'université, de la rencontre avec Claude Chabauty qui était alors simultanément professeur de mathématiques et directeur de l'Institut de mathématiques Joseph Fourier de Grenoble.

Ce professeur avait acquis par ses recherches et sa participation à Bourbaki une grande consistance épistémologique et il avait certainement beaucoup pensé initialement le cours de topologie qu'il nous faisait, mais vu ses multiples autres responsabilités parfois très pressantes (c'était le patron au sens propre où on pouvait l'être à l'université avant mai 68), il n'avait pas toujours le temps nécessaire pour repenser son enseignement avant de l'effectuer. Il se trouvait par suite assez fréquemment pris au dépourvu dans une démonstration difficile et bloqué parce qu'il lui manquait le petit lemme technique, le changement de variable ad hoc, « l'idée de génie » qui, s'il les avait replacés la veille dans sa mémoire vive en préparant son cours, lui auraient permis comme tout autre professeur d'aller sans coup férir directement au bout de son explication.

Il se trouvait donc paradoxalement - la chose étant très inhabituelle à l'université comme au collège ou au lycée - obligé de se comporter en véritable mathématicien pendant ses cours de mathématiques.

En pratique, cela se passait de la façon suivante : lorsqu'il éprouvait une difficulté à démontrer un théorème délicat parce qu'il découvrait dans l'action que des arguments probants lui manquaient, il se mettait à faire véritablement des mathématiques devant nous au lieu de « sortir des lapins de son chapeau » en regardant ses notes ou en fouillant désespérément dans sa mémoire comme cela se fait classiquement pour sauver l'image du « bon professeur » qui ne « sèche » pas et ne se trompe jamais.

Ce qui était extraordinaire, c'est qu'au lieu de chercher en silence et de façon solitaire comme le fait en général un professeur qui se sent coupable de ne pas savoir, il pensait sans complexes à voix haute en nous disant ce qu'il cherchait et comment il escomptait sortir de l'impasse.

Par sa façon de problématiser les difficultés qu'il rencontrait (en faisant des conjectures - je pense que ceci est vrai mais je n'en suis pas certain - en modifiant son projet de démonstration par l'analyse des résistances rencontrées : « je vais seulement démontrer ce résultat plus restreint, mais qui nous suffit pour la suite... etc.), par son honnêteté intellectuelle, par son culot (son immense confiance en la force du raisonnement) qui lui permettait d'oser se mettre résolument en position de chercheur d'une idée réellement convaincante devant un amphithéâtre de 200 étudiants qui attendaient plutôt de lui qu'il déroule linéairement son cours pour pouvoir le recopier sans ratures, ce professeur qui nous fâchait tous beaucoup au départ tant il ne correspondait pas à notre attente, nous montrait également (sans forcément vouloir le faire ?) ce qu'aucun enseignant ne m'avait auparavant laissé entrevoir.

Ce professeur donc qui tombait le masque du « professeur je sais tout », qui nous livrait à ces moments précis des mathématiques vivantes, i.e. telles qu'il les pensait, les comprenait intimement à ce moment-là et non telles qu'il les avait antérieurement apprises et comprises, nous donnait ainsi l'occasion de découvrir deux choses essentielles :

- ***un énoncé mathématique n'est pas une vérité qui tombe du ciel, c'est une vérité qui s'établit, qui se construit par ajustements successifs*** : on a une idée intéressante mais souvent trop générale pour être universellement vraie, et par essais et analyse des erreurs on ajuste peu à peu les conditions pour garder la part de cette idée qu'on peut montrer universellement vraie ;

- ***on ne peut comprendre véritablement les mathématiques qu'on vous explique qu'en essayant de les inventer soi-même.***

En effet, la recherche à voix haute de ce mathématicien pendant le cours avait fini par inciter quelques rares étudiants de l'amphi à se placer eux aussi en position de chercheur d'une formulation, d'une démonstration qui ne leur avait pas encore été enseignée.

Cette démarche erratique mais structurée faisait progressivement découvrir à ces quelques privilégiés que, lorsqu'on se met dans une position de co-auteur d'une théorie, non seulement on comprend beaucoup plus profondément les idées des autres, mais en plus on a des idées personnelles intéressantes, on devient proprement « intelligent de la discipline » qu'on étudie.

En effet, par moments nous découvrons, nous simples étudiants, que nous étions capables de terminer seuls la démonstration qui avait été commencée, et ce parce que ***toutes ces tentatives infructueuses et commentées comme telles nous avaient placés dans une problématique ad hoc.***

Constatant donc sur moi-même et sur quelques camarades la fécondité inattendue de cette façon de faire (très critiquable par ailleurs puisque la quasi totalité des autres étudiants n'ayant pas compris l'intérêt pour eux de chercher une solution avec le prof. attendaient que la solution vienne, et comme cela tardait, ils avaient alors à juste titre le sentiment de perdre leur temps), je me suis immédiatement mis en position de recherche action sur les enseignements que je pratiquais, afin de voir dans quelle mesure il était possible de placer non pas seulement quelques élèves/étudiants et à quelques rares moments, mais le plus grand nombre possible d'entre eux et dans la durée, dans cette position de co-auteurs des théories qu'on veut leur enseigner.

C'est ainsi que partant de l'expérience des sixièmes modernes et de ce formidable éclairage épistémologique que nous avait apporté Claude Chabauty, j'ai cherché pendant une dizaine d'années de façon assez solitaire (mes recherches universitaires se faisant alors en mathématiques et non en didactique des mathématiques) à élaborer pragmatiquement une forme de « débat scientifique » proche de ce que nous vous présentons ici au niveau de ses fondements épistémologiques, mais assez éloignée par contre au niveau de ses pratiques didactiques dans la mesure où le débat que je proposais alors aux élèves/étudiants était une sorte de maïeutique où le professeur, après avoir introduit la problématique d'un chapitre, organisait la recherche de ses élèves/étudiants de façon à leur faire pressentir, « découvrir » et « dire » ce qu'il leur inspirait en fait par ses multiples remarques et suggestions.

Un débat, donc, très ouvert en apparence où les étudiants étaient explicitement conviés à adopter un comportement scientifique en cours, mais où ils avaient en réalité beaucoup

moins l'occasion de prendre de véritables initiatives scientifiques que ce que le professeur que j'étais l'imaginait.

Nous dirions aujourd'hui que la « dévolution d'une véritable responsabilité intellectuelle aux étudiants » était désirée et voulue par ce professeur, mais qu'il ne se donnait pas forcément les moyens didactiques de savoir si elle était effective ou non.

D) Quatrième étape : rencontre de « la didactique »

1) Deux phases aux antipodes l'une de l'autre : une phase d'opposition assez forte et une phase de grande interaction

a. La phase d'opposition assez forte

Le et la didactique

Chacun d'entre nous accepte assez bien qu'il y ait deux mondes physiques : d'un côté il y a « **le monde physique concret** » dans lequel nous vivons et qui nous intéresse au premier chef car c'est dans ce monde que nous arrivent des événements heureux et malheureux, et d'un autre côté il y a « **la physique** » qui nous intéresse également, mais différemment puisqu'elle tente en construisant des modèles de décrire et d'expliquer ce monde dans lequel nous sommes immergés ; par ses lois cette physique nous aide à rationaliser les régularités que l'on observe et à anticiper certains événements difficiles à prévoir avec notre simple bon sens et nos seules expériences passées.

De la même façon il y a « **la didactique** » qui représente le réel de toute classe ou tout amphithéâtre où un professeur a le projet d'enseigner aux élèves/étudiants qui sont devant lui les savoirs d'un programme que ces derniers ont conjointement le projet d'apprendre avec ce professeur, et à côté de ce quotidien de tout enseignement il y a « **la didactique** » qui tente de faire un pas de côté pour comprendre la nature de cet échange autour du savoir : pourquoi à certains moments l'échange didactique semble bien ou très bien fonctionner et pourquoi par contre, dans des conditions d'apparence voisine, l'échange ne se fait plus aussi bien ou plus du tout ?

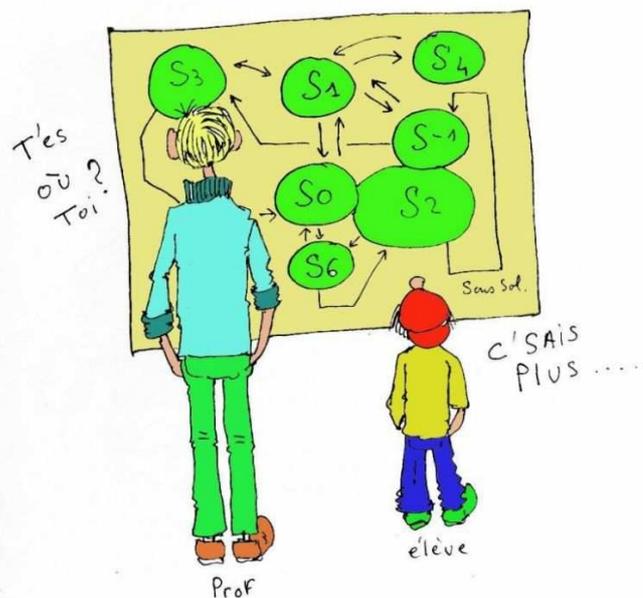
La didactique étant présentée comme cela, on ne voit pas quel professeur pourrait cracher dessus et prétendre que ce type de réflexion où s'entrecroisent nécessairement théorie et pratique ne fait pas directement ou indirectement partie de son métier, et ce même s'il éprouve assez normalement quelques résistances à s'y mettre, surtout quand il n'a pas eu l'occasion d'être formé à ce type de modélisation qui relève plus des sciences humaines que des sciences dites « exactes » ou « dures ».

En réalité, nous savons bien que pour un très grand nombre de professeurs du primaire, du secondaire et surtout du supérieur ce n'est pas du tout comme cela que « la didactique » se présente à eux.

En effet, suite à quelques lectures d'écrits didactiques particulièrement opaques (prétentieux et/ou vides de sens en apparence au moins pour le néophyte), suite aussi à quelques rencontres avec des didacticiens jargonnants et pas forcément aussi éclairés au niveau épistémologique que leur discours voudrait faire accroire, et aussi - il faut bien le reconnaître - en raison de préjugés professionnels bien entretenus dans des discussions pédagogiques où les

praticiens se vengent d'une certaine façon des difficultés qu'ils rencontrent dans les classes ou les amphis en se moquant des théoriciens qui voudraient leur « faire la leçon », beaucoup de professeurs donc ont secrété au fil des quelques rapports qu'ils ont eu avec « la didactique » et les didacticiens une grande aversion, un grand mépris et donc un grand rejet pour cette approche théorique du métier. Ceux qui la produisent seraient selon eux des gens qui ne comprennent pas toujours sur le fond les concepts des disciplines qu'ils dissèquent très finement, et qui par ailleurs utilisent des théories indémonstrables (en terme de sciences exactes) et des mots inutilement compliqués pour cacher leur incapacité à trouver des solutions pragmatiques réellement efficaces aux problèmes et obstacles sur lesquels tout professeur bute.

Je dois avouer que pendant un certain temps j'ai partagé ce type de vision de « la didactique » et des didacticiens car j'avais parfois l'impression en écoutant certains d'entre eux dissenter sur les recherches en didactique et notamment sur les travaux de Guy Brousseau, qu'ils se préoccupaient beaucoup de détails qui me semblaient assez insignifiants par rapport aux problèmes réels de la classe ou de l'amphi et que bien souvent, après une longue étude ayant mobilisé beaucoup de moyens, la montagne accouchait d'une souris : la conclusion de l'étude n'était autre que la confirmation de ce que tout enseignant non totalement dénué de sens pédagogique finit par comprendre et découvrir seul s'il s'intéresse à son métier et s'oblige à regarder avec un minimum d'objectivité ce que ses élèves/étudiants apprennent/comprennent.



Dans les groupes de l'IREM où je travaillais, tout en étant très intéressés par la vision constructiviste issue des travaux de Piaget, nous menions donc une sorte de fronde anti-didacticiens : nous voulions nous préoccuper directement du problème de l'apprentissage du raisonnement mathématique et du sens que l'élève donnait à la démonstration, sans nous laisser embrigader dans des théories didactiques compliquées qui nous obligeraient (c'est le sentiment que nous avons alors) à faire des expériences en classe ou en amphi dans lesquelles il faudrait se débrouiller pour que le réel se plie à la théorie et non, comme il se doit, l'inverse.

Cette fronde dura jusqu'au jour où Guy Brousseau vint à Grenoble faire un exposé au séminaire de didactique, exposé au cours duquel il trouva des mots et dévoila des intentions qui me rendaient pour la première fois « compréhensible » ce qu'il avait écrit depuis longtemps dans des articles que j'avais tenté de lire et qui étaient restés jusqu'à ce jour (j'y avais sûrement mis un peu de mauvaise volonté car l'aspect trop théorisant me hérissait le poil) totalement opaque.

Pendant ce séminaire je pris subitement conscience que « **la théorie des situations** » (qui présentée d'une certaine façon m'apparaissait comme une usine à gaz) se préoccupait en

fait de façon centrale du problème du sens autour duquel tournaient depuis des années toutes nos recherches et expérimentations.

En effet, cette théorie nous invitait à une sorte de retournement de point de vue : elle nous invitait à transformer ce que nous avions tendance à regarder alors comme primordial, à savoir « la recherche des bonnes explications susceptibles de permettre au professeur de transmettre aux élèves le sens profond des concepts et des théories » en « **la recherche des conditions que le professeur allait devoir rassembler et organiser pour donner aux élèves plus de chances de se poser les bonnes questions et de proposer des ébauches de solutions suffisamment pertinentes pour qu'elles leur permettent de construire un sens profond aux concepts et aux théories que le professeur devrait in fine institutionnaliser !** »

Comme nous le pensions également à partir de l'expérience des sixièmes modernes, cette théorie considérait que « *le niveau de responsabilité intellectuelle de l'élève est une des clefs principales pour ouvrir ou au contraire verrouiller la porte de la compréhension profonde* », **mais à l'inverse de ce que nous pratiquions alors** (et ce fut le déclic qui me fit penser qu'il ne fallait surtout pas rester prisonnier de préjugés qui nous interdisaient de nous saisir d'idées qui non seulement rejoignaient nos préoccupations, mais qui de plus offraient une ossature théorique à ce que nous pratiquions de façon assez instinctive) **cette théorie donnait des clefs pour arriver à mettre en synergie une préoccupation épistémologique forte et un principe cognitif constructiviste.**

D'une certaine façon nous étions (en nous en défendant bien sûr et sans nous en rendre compte) restés très éloignés dans nos gestes pédagogiques de l'essence même du constructivisme : **face à une vraie difficulté de compréhension due au fait que le savoir à étudier n'était pas dans la continuité de ce qui avait été appris auparavant, mais réclamait plutôt pour être compris d'effectuer un saut conceptuel, nous avions tendance à garder le réflexe monstatif, i.e. au lieu de pousser l'élève au conflit cognitif pour qu'il prenne conscience d'un obstacle susceptible de l'obliger à prendre du recul, nous gardions (même si tout nous indiquait le contraire) la croyance en la toute-puissance de la bonne présentation du savoir (la présentation la plus logique), de la bonne explication magistrale (celle qui évite tout doute et tout conflit)** nous pensions qu'en dernier ressort « *le sens profond des savoirs devait toujours pouvoir arriver à se transmettre si la qualité des explications du professeur était suffisante et que les élèves pouvaient s'exprimer avec assez de liberté pour montrer leurs incompréhensions* ».

Pour chaque savoir important l'essentiel du travail didactique était donc pour nous de trouver le point d'équilibre entre deux exigences contradictoires : trouver des explications qui soient simultanément à la hauteur de la complexité du savoir (exigence épistémologique) et qui sachent néanmoins se mettre à la portée des élèves/étudiants effectivement présents (exigence cognitive) !

Cette conception de la didactique éliminait donc, sans le dire nommément, la notion même d'obstacle épistémologique développée par Bachelard.

Nous allons indiquer de façon un peu plus précise au paragraphe suivant de quelle façon la théorie des situations a éclairé pour nous, de façon à la fois théorique et pratique, ce qui nous semble être le postulat fondamental de la pensée constructiviste : « *le sens profond des savoirs complexes ne se transmet pas, il se construit en surmontant les paradoxes et contradictions qui surgissent tant qu'on n'a pas vraiment saisi l'essence de ce savoir* ».

Mais disons tout de suite que la théorie des situations que nous découvrons alors tendait à nous indiquer une direction très prometteuse pour infléchir de façon pertinente nos recherches sur « l'enseignement du sens profond » : *au lieu de considérer le professeur comme étant d'abord le transmetteur direct du sens par la qualité de ses bonnes explications*, il fallait plutôt essayer de le regarder comme *l'organisateur d'un jeu autour du savoir et d'un milieu propice à la construction de ce sens profond du savoir par l'élève ou l'étudiant lui-même*.

Par ce changement de point de vue dans lequel le cognitif ne tourne jamais à vide mais est totalement structuré par l'épistémologie, **le rôle essentiel que le professeur se donnait se modifiait de la façon suivante** : aux moments les plus cruciaux (ceux où l'élève peut commencer à comprendre véritablement, mais peut aussi ne rien comprendre du tout sur le fond), au lieu d'être le **donneur d'un sens tout construit**, il devenait le **catalyseur** rendant plus probable l'alchimie de la construction de sens par l'élève/étudiant lui-même.

C'est seulement à ce moment que j'ai pris conscience que c'était ce retournement des priorités des actions du professeur qui pouvait le mieux incorporer de façon pratique la notion d'obstacle épistémologique développée par Bachelard, notion que je présentais intuitivement depuis des années sans pouvoir la nommer ; *d'une certaine façon nous étions d'accord philosophiquement avec cette notion, mais la façon dont nous avons été formés nous poussait à la rejeter en pratique sans en être vraiment conscients*.

Dès cet instant, cessa donc la guéguerre contre toute forme de didactique théorique et nous avons au contraire essayé de voir dans quelle mesure les travaux de recherches en didactique des uns et des autres pouvaient ou non nous aider à aller plus loin dans notre quête autour de la construction d'un sens profond dans une classe ou dans un amphi.

b. La phase de forte coopération

Ce qui a beaucoup influencé/bousculé nos recherches pédagogiques très pragmatiques d'alors, c'est donc d'abord la **théorie des situations de Guy Brousseau** qui, comme nous venons de l'esquisser, postulait en un sens ce que C. Chabauty nous avait fait vivre en acte à certains moments : « *Si le milieu créé par le professeur est favorable, il y a possibilité - au moins à certains moments cruciaux - que se produise une rencontre directe de l'élève* (dès son plus jeune âge et pas seulement à la fac) *avec un savoir proprement scientifique* »; et ensuite la **théorie anthropologique de Yves Chevallard** qui d'une certaine façon postulait le contraire : « *le didactique suit des lois qui ne poussent pas naturellement les acteurs de l'école, donc les élèves et les professeurs, à se préoccuper prioritairement de la préservation du sens profond des savoirs, beaucoup d'autres contraintes et préoccupations font passer au second plan ce qui devrait être central, i.e. préserver la consistance épistémologique de ce qu'on enseigne et aspire fortement que les élèves/étudiants retiennent* ».

Cette théorie anthropologique rend compte du fait très général suivant :

Ce qui s'était fortuitement passé avec C. Chabauty pour quelques étudiants (très privilégiés parce que des circonstances particulières leur avaient permis de saisir au bond la possibilité de construction de sens que les avatars du cours leur offraient) ne s'était pas du tout propagé « spontanément » aux cent quatre vingt quinze autres étudiants.

Ces derniers, qui auraient probablement pu comprendre ce cours aussi bien que le petit noyau de ceux qui avaient saisi « la balle du sens au bond », ne profitaient pas de cette formidable occasion de comprendre plus en profondeur, car au lieu de se mettre à chercher eux

aussi pour découvrir en partie par eux-mêmes de quoi il s'agissait, ils restaient prisonniers des coutumes didactiques que l'institution école leur avait inculquées au fil des années : ils se désespéraient donc de ne plus rien pouvoir suivre linéairement et n'entendaient plus rien d'intelligible à ces atermoiements du professeur puisque ce dernier ne leur servait plus les mathématiques prémâchées et toutes faites qu'on leur avait toujours proposées.

Beaucoup se mettaient alors à faire autre chose ou à discuter en attendant « que le cours reprenne ! », ils étaient donc très fâchés s'ils devaient au bout d'un temps d'attente stérile rayer ce qu'ils avaient commencé à écrire pour copier les nouvelles propositions de ce professeur.

Il me semble que ces pairs ne pouvaient se saisir de cette opportunité, non par manque de moyens ou d'intérêt mais principalement parce que pour eux la fonction propre d'un cours en amphï n'était absolument pas de leur permettre de comprendre l'essentiel : pour eux le cours servait d'abord à prendre des notes complètes, justes et si possible sans ratures, le sens se traiterait si nécessaire en Travaux Dirigés et dans les mises en application.

Par suite, tous ces errements du professeur qui auraient pu montrer à ces pairs comment comprendre véritablement un cours, qui aurait pu leur expliquer ce qui jusqu'à ce jour les avait empêchés de comprendre (ne pas rencontrer d'obstacle, ne pas pouvoir adopter une position d'auteur pendant le cours) et par suite qui aurait pu leur indiquer comment donner du sens aux théories et comment arriver à démontrer par eux-mêmes certaines propriétés délicates, étaient absolument stériles et sans effet didactique, car pour eux, dans leur contrat didactique, tout cela était hors sujet dans un cours magistral.

Le contrat didactique qui s'était insidieusement noué entre eux et l'institution école au fil de leurs nombreuses années d'études, leur interdisait en quelque sorte de se saisir de cette opportunité de mieux comprendre.

C'est donc ce type de résistance négative, propre à tout enseignement dans une institution didactique, que la théorie anthropologique met formidablement bien en lumière.

Quand on met en place une innovation pédagogique, ces résistances négatives, on a tous envie de ne pas trop les regarder en face car cela a tendance à contrer notre élan positif, notre désir de progrès. Mais en réalité, si l'on souhaite progresser effectivement, il faut absolument intégrer ces entraves incontournables au dispositif qu'on met en place, sinon on fait de « faux changements pédagogiques », i.e. on change beaucoup vu de l'extérieur mais en réalité, comme tout ce qu'on a mis en place et qui pourrait véritablement changer le fond s'oppose à des habitudes et principes anciens dont on n'a pas voulu tenir compte, passé le temps de l'enthousiasme pour ce qui est nouveau, la classe ou l'amphï retrouve très vite ses fonctionnements cognitifs anciens (rien n'a changé sur le fond, nous y reviendrons longuement au tome II).



D'autres théories didactiques ont joué un rôle important dans la construction du « principe du débat scientifique en cours »

Au delà de ces deux grandes théories didactiques qui nous ont formidablement aidés soit en confirmant/structurant nos intuitions premières, soit en mettant en évidence que ce qui fait « marcher nos débats et leur donne une efficacité réelle » est beaucoup plus complexe/fragile qu'il n'y paraît à première vue et ne peut se réduire au seul fait de donner la parole aux élèves en leur disant «*posez-vous des questions,... soyez responsables !*», deux autres théories didactiques vont nous aider à mettre en mot ce que nous intuitions dans les débats que nous organisons en cours : **la « théorie du champ conceptuel » de Gérard Vergnaud d'une part et la « théorie du jeu de cadre et de la dialectique outil-objet » de Régine Douady de l'autre.**

La théorie du champ conceptuel met en évidence le fait que l'élève/l'étudiant ne dit et ne fait pour ainsi dire jamais « n'importe quoi ! » (comme on a facilement tendance à le penser quand on est surpris par un comportement d'élève trop irresponsable, trop décousu, illogique, absurde). L'élève suit une logique qui n'est pas forcément la nôtre (ce que m'avaient montré avec force les sixièmes modernes dès que leur prise de parole avait été libérée) et surtout, quand il fait des inférences, il s'appuie sur un champ conceptuel constitué de postulats, de règles et de théorèmes en acte qui bien souvent ne sont pas ceux du professeur, qui ne sont pas vraiment formulés, qui sont toujours en partie pertinents et vrais si on restreint leur champ d'application aux préoccupations du moment de l'élève.

Le principe du débat scientifique a précisément pour fonction d'obliger l'élève/l'étudiant à prendre conscience, à expliciter/formaliser son champ conceptuel pour faire émerger (par rencontre des contradictions) ses erreurs et ses manques afin que de lui-même il ait tendance à l'amender et à le transformer pour le mettre en conformité avec celui de la communauté scientifique.

De son côté **la théorie « du jeu de cadre et de la dialectique outil-objet »** met en évidence le fait que pour arriver à donner plus de sens et un sens plus pertinent et conforme aux concepts et théories qu'il étudie, l'élève/l'étudiant doit pouvoir exploiter à fond la dialectique suivante (que professeurs et chercheurs exploitent en permanence de par leur métier) : à un moment donné un savoir est objet d'études et prend ainsi un certain sens, mais une fois la première étude effectuée, ce savoir va pouvoir être exploité par le sujet qui l'a étudié comme un outil de pensée l'aidant à aborder d'autres nouveaux objets de savoirs.

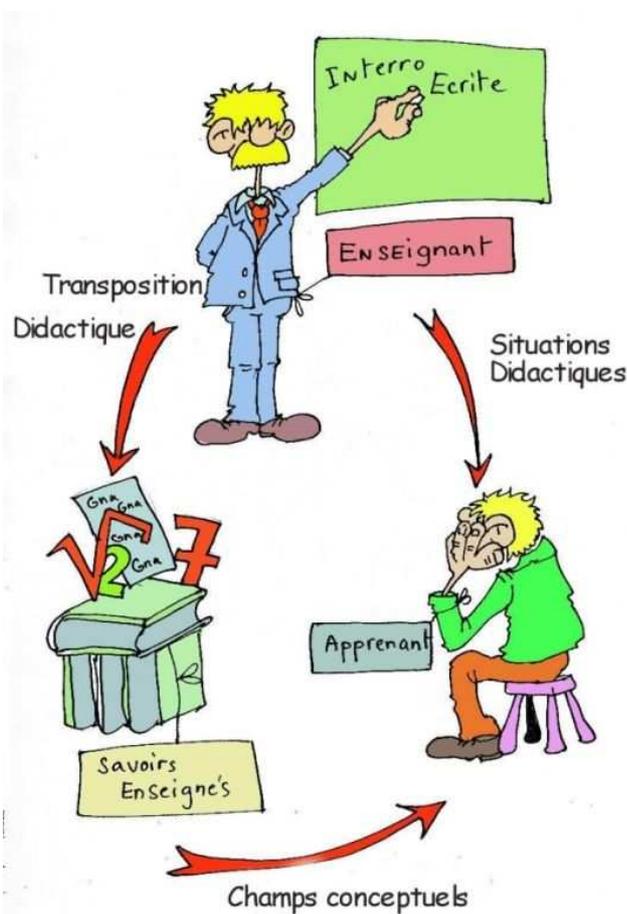
Le fait d'exploiter les savoirs initialement pris comme objets d'études, comme des outils d'investigation d'autres savoirs, va permettre à l'élève/étudiant d'affiner, de rectifier, d'approfondir les premiers niveaux de sens construits dans l'étude initiale.

Par exemple : une bonne façon de comprendre les finesses de la continuité est, après une première étude de cette continuité, de ne plus en faire l'objet principal de l'étude et de se mettre par contre à travailler sur l'intégrabilité des fonctions. En effet, la continuité va alors devenir un outil qui nous aidera énormément à distinguer les fonctions qui ont des chances d'être intégrables - car elles sont souvent continues - de celles qui seront plus difficiles à mesurer - car trop souvent/trop fortement discontinues. Ce concept de continuité va alors mieux révéler sa force, sa pertinence pour traiter certains aspects, et son insuffisance pour en aborder d'autres ; bref il va mieux révéler sa richesse et sa complexité si la classe ou l'amphi le prend comme outil d'étude d'un autre concept, par exemple l'intégrale, au lieu de s'acharner à vouloir poursuivre jusqu'à épuisement son étude frontale.

De façon plus générale, cette théorie didactique exploite à fond ce que ses auteurs appellent le changement de cadre, i.e. le fait qu'on ne connaît bien une notion, un concept, une théorie que si on arrive à les faire vivre dans plusieurs cadres assez différents.

Par exemple, une fonction c'est une relation formelle entre deux ensembles (cadre formel), qui dans certains cas s'exprime avec des formules (cadre numérique) et peut se représenter par des graphiques (cadre graphique). Si la classe joue simultanément sur ces trois cadres, ce concept a beaucoup de chances de prendre plus d'épaisseur épistémologique que si (pour éviter la complexité et les erreurs) on le compartimente dans chacun de ces cadres.

Ce principe : « regarder un même objet de pensée de plusieurs façons différentes » est un procédé didactique qu'une école - trop obsédée par une exigence de réussite immédiate - a tendance à écarter a priori puisque dans un premier temps il est source de complexité et donc de beaucoup d'erreurs.



Et cependant, outre le fait qu'une pratique régulière de changement de cadre donne une réelle épaisseur épistémologique aux concepts et théories, elle permet bien souvent à l'élève de subodorer ses propres réductions illégitimes de sens (auxquelles pousse l'étude dans un cadre unique), voire de mettre en évidence des contresens qui sinon restent longtemps inaperçus (ce qui était faux mais acceptable dans un cadre, devient vite insupportable dans un autre cadre).

Nous verrons au fil des exemples que l'efficacité du « débat scientifique en cours » repose en partie sur ces deux analyses du didactique puisque d'un côté, pour avancer dans le cours, pour étudier de nouveaux savoirs, les élèves/étudiants sont invités en permanence à faire des conjectures et des démonstrations dans lesquelles tout ce qu'ils ont étudié auparavant se comporte comme des outils pour aborder le nouvel objet de savoir (l'avancée du cours s'effectue en permanence en exploitant cette dialectique outil/objet qui remet souvent en cause le

caractère trop frustré ou profondément erroné des acquis antérieurs) et que par ailleurs, le fait de devoir utiliser ces savoirs antérieurs comme outils pour construire du nouveau oblige chaque élève à expliciter constamment son propre champ conceptuel, i.e. les concepts et les théories en partie valides et en partie erronés qui lui permettent de prendre des décisions.

Vu la variété des champs conceptuels des uns et des autres, cette mise en commun des points de vue fait naturellement intervenir de façon permanente des changements de cadre importants.

En effet, bien souvent lorsqu'un problème est posé dans un certain cadre, au cours du débat certains élèves/étudiants originaux (pas forcément les plus forts au sens classique du terme, bien au contraire) vont assez naturellement tendre à placer le problème dans un cadre différent où ils ont plus d'intuitions; et alors, pour tenir compte de cette proposition « iconoclaste », chacun va devoir faire l'effort d'accepter ce changement inopiné de cadre, chacun va devoir juger s'il est légitime ou non, pertinent ou pas, éclairant ou non, etc. etc. !

L'acceptation par le professeur du changement de cadre opéré par les élèves eux-mêmes pour argumenter doit donc faire partie intégrante du contrat didactique du « débat scientifique » puisque c'est un catalyseur important de construction d'un sens plus profond (quitte à ce que le professeur aide l'intervenant à préciser son cadre, si ce dernier l'introduit de façon trop succincte ou maladroite pour être compris de tous).

Dans ce paradigme du « débat scientifique » le professeur est lui-même souvent amené à exploiter ce changement de cadre pour problématiser le savoir : il lui suffit très souvent de poser une question classique dans un cadre non classique pour que ce qui était évident quand la question était « bien posée » i.e. de façon très canonique, devienne très problématique pour tous, y compris pour les « bons élèves » qui auraient pu bien répondre sans même réfléchir au fond du problème si la question avait été posée dans un cadre classique. Le bénéfice de cette opération de déstabilisation est de faire prendre conscience à l'élève/étudiant que, même lorsqu'il sait « très bien faire » dans un cadre où il a toutes ses habitudes, il ne sait pas forcément ce qu'il fait au juste et pourquoi, et ... pourquoi « ça ne marcherait pas si bien » dans une situation semblable mais un peu différente (tout professeur sait que rien n'est plus difficile que de faire re-travailler des élèves/étudiants sur un savoir qu'ils ont le sentiment de bien maîtriser!)

Ces deux autres théories didactiques ont donc été pour nous des éclairages supplémentaires très importants, mais elles ont plus confirmé, renforcé et structuré nos intuitions premières et nos pratiques qu'elles ne les ont bousculées ou remises en cause de façon profonde.

Ce n'est pas le cas des deux premières théories sur lesquelles nous allons maintenant revenir plus en détail pour essayer de préciser davantage à quels endroits elles ont confirmé nos intuitions premières et à quels autres elles les ont beaucoup bousculées.

2) L'apport déterminant de la théorie des situations

La théorie des situations esquissée par Guy Brousseau dès les années 1970 et dont j'ai commencé à prendre connaissance autour des années 1980 a été décisive pour nombre d'orientations prises à propos du « débat scientifique » dans la mesure où tout en confirmant la plupart de nos intuitions, elle nous a aidés/forcés à mettre plus d'ordre et de cohérence dans un certain nombre d'actions que nous entreprenions assez intuitivement, à mieux comprendre l'importance d'articuler l'épistémologique, le cognitif et le psychologique autour de la « ***dévolution*** » ***d'une effective responsabilité intellectuelle à l'élève/étudiant.***

Ce que nous réalisons alors dans les classes et les amphis relevait pour beaucoup d'une sorte d'intuition didactique raisonnée, basée principalement sur l'introspection et sur la volonté de mettre en regard et si possible en cohérence les actions didactiques différentes de l'élève/étudiant d'un côté et du chercheur de l'autre lorsque chacun d'eux essaye à sa façon d'investiguer un domaine de savoir encore inconnu de lui.

La piste de recherche que nous suivions alors était : puisque le chercheur - non didacticien en général - arrive néanmoins à se construire empiriquement une didactique qui lui permet de donner beaucoup de sens à ce qu'il étudie, l'élève/étudiant qui n'est pas un chercheur professionnel peut-il par le biais d'un « débat » organisé par le professeur, emprunter à la démarche didactique naturelle du chercheur des méthodes de travail qui lui permettent à lui aussi de comprendre beaucoup plus sur le fond ce qui est nouveau pour lui. Et de plus, peut-il réaliser tout cela en occupant la position d'élève/étudiant en train de suivre un cours ?

La théorie des situations va nous permettre de pointer et de recadrer quelques-unes de ces intuitions didactiques essentielles à la réussite du « débat scientifique » et je vais essayer de résumer ici le plus brièvement possible les trois apports de cette théorie qui me semblent aujourd'hui être les plus décisifs pour donner une réelle cohérence épistémologique et une plus grande efficacité didactique aux débats qu'on peut tous organiser assez spontanément dans une classe ou un amphi dans le but d'aider nos élèves/étudiants à mieux comprendre les savoirs conceptuels qu'on leur enseigne.

Au moment où nous rencontrons cette théorie des situations, nous sommes comme beaucoup de collègues travaillant dans les IREM fortement *influencés par les courants pédagogiques constructivistes issus des innovations de Freinet et des travaux de Piaget.*

Ce que nous retenons alors de cette pensée constructiviste, c'est essentiellement le formidable potentiel d'auto-apprentissage de l'enfant par essais/erreurs.

Par un jeu permanent d'essais/erreurs l'enfant construit du sens (et un sens pertinent - par rétroaction des erreurs) sur un monde en grande partie organisé et construit par les adultes (en particulier le langage), monde que ces adultes ne peuvent que très peu lui expliquer eux-mêmes par les chemins classiques de l'explication rationnelle.

Ce principe constructiviste de **construction du sens par essais/erreurs** est central dans le principe du « débat scientifique » puisqu'en donnant aux élèves/étudiants la possibilité de faire eux-mêmes des conjectures (i.e. de faire des propositions a priori pertinentes et vraies pour leurs auteurs et que le débat va révéler ensuite vraies/fausses, pertinentes ou non), ils peuvent ainsi par ces essais/erreurs sur leurs propositions à vocation universelle découvrir quel est le degré de vérité et/ou de pertinence de leur propre façon de penser nos savoirs.

Mais à cette époque, nous n'étions pas encore assez conscients de deux autres aspects très liés et en réalité décisifs pour que ce principe constructiviste de l'essai/erreur sur les propositions des élèves fasse réellement entrer la classe ou l'amphi dans la démarche intellectuelle souhaitée :

- *quel est le degré de responsabilité intellectuelle* que l'élève/étudiant peut assumer quand il prend une initiative en classe, quand il fait une proposition devant un professeur ?

- *de quelle nature est la rétroaction, i.e. « qui et quoi » renvoie à l'élève/étudiant le message que sa proposition est valide ou non, pertinente ou pas ?*

« Qui et quoi » explique à l'élève que cette autre démarche est plus intéressante, plus valide que la sienne ? (est-ce principalement le professeur, donc l'autorité institutionnelle, ou bien est-ce un « réel » autre que le professeur, plus indépendant de l'autorité institutionnelle, par

exemple des pairs, ou une expérience matérielle ou encore des résultats pris hors du l'école, etc...?)

Dans la théorie des situations nous trouvons trois notions de base qui nous poussent à considérer ces questions comme cruciales : il s'agit de la notion de « **situation fondamentale** » d'abord, de « **dévolution d'une responsabilité scientifique** » ensuite et « **d'obstacle épistémologique** » enfin.

Nous allons très succinctement résumer ici ce que nous retenons de ces trois notions dans le principe du « débat scientifique en cours ».

a. La notion de situation fondamentale.

Derrière cette notion il y a l'idée que lorsqu'un professeur conçoit une situation-problème dans l'intention de la soumettre à ses élèves/étudiants pour que leurs initiatives les rapprochent du sens profond d'un savoir, lorsqu'il organise donc pour eux une sorte de jeu dans lequel ils vont pouvoir faire des essais/erreurs, il lui faut regarder très sérieusement (le plus objectivement possible) comment l'élève va pouvoir « gagner à ce jeu ».

L'élève va-t-il gagner principalement parce qu'il joue consciemment et volontairement le jeu de la rationalité (i.e. il prend les initiatives qui lui semblent personnellement raisonnables, sans trop attendre, solliciter, suivre docilement les indications qui le guideraient) ou bien va-t-il gagner principalement parce qu'il est implicitement ou explicitement guidé par le professeur, parce qu'il cherche principalement à découvrir les attentes du professeur afin d'y répondre ?

Pour dire les choses de façon lapidaire, on pourrait affirmer qu'une situation problématique est « idéalement fondamentale » par rapport à un savoir si elle emmène très sûrement la classe/l'amphi à la rencontre du sens de ce savoir et si ce qui produit ce rapprochement est essentiellement une dynamique et une logique internes au problème, à la situation. La situation est « idéalement fondamentale » si pour l'élève/étudiant ce qui lui permet de valider ou d'invalider un choix se trouve en germe dans la situation et peut être en grande partie découvert et exploité par lui seul ou en interaction avec ses pairs. (Le professeur pose clairement le problème mais ensuite il n'est pas celui qui téléguide en sous-main la recherche, tire les conséquences des essais afin de guider vers le choix des bonnes solutions ; bref le professeur n'a pas besoin de tirer les ficelles pour que la résolution avance de façon satisfaisante!)

À l'inverse, une situation même potentiellement très riche et intéressante ne sera pas considérée comme « fondamentale » si pour les élèves/étudiants auxquels on s'adresse, elle ne possède pas de dynamique d'évolution intrinsèque, si pour être fructueuse elle nécessite d'être sans cesse ré-impulsée (en sous-main) par le professeur, si par sa technicité et sa sophistication elle relève d'une logique où le « bon élève » comprend assez vite qu'il n'avancera, qu'il ne gagnera que s'il se met à chaque instant en phase avec les intentions supposées du professeur, que s'il adopte une rationalité essentiellement scolaire où son travail d'élève est principalement de chercher ce que son professeur veut lui faire utiliser ici.

Pour un professeur ou un groupe de professeurs qui veut problématiser un savoir, **entrer dans une problématique de recherche de situations fondamentales** est crucial car cela oblige immédiatement à reposer tout le problème de la nature des questions que l'on met en débat : une question peut être très riche, intéressante, motivante en soi, mais ne pas être du tout fondamentale pour le groupe d'élèves/étudiants auxquels on s'adresse à ce moment précis,

dans la mesure où le problème qu'elle soulève, posé à ce groupe d'élèves, ayant ce type de connaissances, ne va posséder aucune dynamique d'évolution interne ou va les emmener naturellement sur un tout autre sujet d'étude.

Si les élèves/étudiants participent à une activité problématique dans laquelle le professeur doit sans cesse intervenir pour relancer la recherche et qu'aucune des propositions émanant seulement des élèves ne parvient à faire évoluer significativement la réflexion collective, la situation perd toute sa dynamique constructiviste : les difficultés/contradictions ne conduisent plus l'élève à entrer dans la problématique propre du savoir, elles le replacent seulement dans une recherche de conformité à la pensée magistrale (« *qu'est-ce que ce professeur attend de nous ? qu'est-ce qu'il veut nous faire dire ?* »)

Cela repose donc de façon cruciale tout le problème de la nature des interventions du professeur dans le débat : s'il intervient trop sur le fond, il change la nature du jeu proposé aux élèves, la succession de ses interventions leur indique clairement que pour gagner au jeu réel auquel ils sont conviés à cet instant, il vaut mieux s'éloigner du jeu de la rationalité scientifique initialement proposé et se rapprocher du jeu de la conformité à la pensée du maître.

Tout cela nous le pressentiments confusément, mais la notion de situation fondamentale va le structurer, va nous interdire de continuer à penser qu'on peut traiter ces questions au pur feeling : si le professeur ne veut pas être repris dans les débats par le piège de ses trop nombreuses interventions, il doit en amont beaucoup plus travailler la consistance épistémologique des situations qu'il met en débat et leur adéquation à susciter les « bonnes questions » de la part des élèves/étudiants, vu ce qu'ils connaissent à ce moment précis.

Le professeur doit beaucoup plus se poser la question : parmi les multiples facettes de ce savoir, quelle est celle (ou celles mais pas trop nombreuses) que je veux principalement faire travailler, car si le professeur sait bien où il fixe l'essentiel dans ce débat précis et organise une situation adaptée à ce projet, il peut ensuite laisser une beaucoup plus grande liberté, une plus grande responsabilité intellectuelle à ses interlocuteurs.

Par exemple, il pourra mieux supporter certaines interventions iconoclastes d'élèves/étudiants qui en apparence éloignent du thème principal, car il pourra subodorer que par les conflits qu'elles vont probablement engendrer, elles peuvent ramener très efficacement le groupe au cœur de la problématique (et cela, le professeur risque de ne pas pouvoir le comprendre in vivo s'il n'a pas fait initialement cet approfondissement épistémologique qui lui permet de faire les deuils cognitifs quantitatifs indispensables à la construction du sens profond, qui lui permet donc d'avoir l'humilité de ne pas vouloir tout enseigner, tout faire comprendre en même temps !)

b. La notion de « dévolution d'une responsabilité scientifique » (du professeur à ses élèves/étudiants)

Il y a ici la prise en compte et la reconnaissance explicite du fait que le sujet élève d'une classe ou étudiant d'un amphi n'est pas naturellement responsable de la scientificité des déclarations et pratiques de la classe ou de l'amphi, cette responsabilité est institutionnellement attribuée au professeur.

Si donc le professeur veut effectuer un travail qui s'adresse à des élèves/étudiants qui assument une réelle responsabilité scientifique, il doit au préalable et tout au cours du processus faire la dévolution de cette responsabilité à ses élèves/étudiants qui, sinon, lui

laisseront constamment exercer seul ce « pouvoir exclusif du maître » en se référant au contrat didactique tacite le plus universellement répandu.

c. Conséquence de ces deux grandes idées dans un enseignement scientifique

Appliquées sur le principe constructiviste qui consiste à faire progresser l'apprentissage d'une démarche scientifique en favorisant un jeu d'essais/erreurs du sujet élève/étudiant sur des propositions scientifiques (émettre et résoudre des conjectures), ces deux grandes idées imposent un choix décisif du « débat scientifique » : ***si nous voulons véritablement faire « apprendre de la science » à nos élèves/étudiants en utilisant ce principe constructiviste, il faut impérativement que le jeu que nous proposons à nos élèves/étudiants en cours soit d'abord le jeu de la science.***

Ceci impose deux contraintes fortes :

- Ce que les élèves/étudiants proposent de leur propre initiative doit avoir vocation à devenir de la science : les définitions et modèles qu'on discute dans la communauté scientifique classe ou amphi, les conjectures que les élèves font et que la communauté trie, rectifie, perfectionne, ont vocation à devenir des définitions et théorèmes du cours (énoncés jugés pertinents et vrais par la communauté scientifique classe, garantis conformes à ce qui émane de la communauté plus large de tous les scientifiques par le professeur). Ces énoncés doivent constituer une part importante de ceux qu'on va réutiliser à maintes reprises dans la suite de l'étude.

- Dans ce débat de la communauté scientifique classe ou amphi, ce qui valide les essais des uns et des autres ce sont essentiellement des faits et arguments de nature scientifique que les élèves peuvent percevoir et faire ressortir eux-mêmes de la situation (explication rationnelle émanant des pairs, production de preuves, de contre-exemples, rétroaction d'un réel) et non principalement le discours explicatif d'un professeur omniprésent qui, lui, a toujours institutionnellement raison.

En clair, ce que nous a apporté de décisif la théorie des situations c'est de pointer plus rationnellement le fait essentiel que nous ne ressentions qu'intuitivement : ***ce qui peut le mieux expliquer à l'élève le sens et l'usage des savoirs scientifiques, c'est de lui donner la possibilité de jouer pleinement le jeu de la science.***

Or, pour qu'il puisse jouer pleinement ce jeu, il faut qu'il puisse avoir d'abord ***l'initiative de faire des propositions scientifiques***, ensuite ***la responsabilité de contrôler*** ce qu'il propose et ce que proposent ses pairs, ainsi que la possibilité de ***découvrir par lui-même ce qui est faux ou non pertinent***, et enfin la charge de ***chercher à rectifier*** avec le concours du professeur ce qui s'est avéré inadapté ou inexact.

C'est cela qui nous a poussés à considérer les deux points suivants comme encore plus nécessaires que ce que nous pensions intuitivement :

- d'abord, à certains moments au moins, ***l'élève/l'étudiant doit pouvoir participer à l'élaboration des théories qu'on veut lui enseigner*** (le débat doit se faire en partie sur le cours lui-même et pas seulement sur les applications du cours).

- et ensuite, dans cette élaboration en commun de la théorie, les problèmes que le professeur soumet à la réflexion des élèves/étudiants ***doivent être de nature à leur laisser assumer une réelle responsabilité scientifique.***

Si pour aller tout de suite à la bonne formulation (pour que le cours suive une logique d'exposition économique des théories) nous soumettons à nos élèves/étudiants des problèmes très cadrés, des problèmes qui pour être résolus doivent être découpés en une multitude de sous-problèmes, si nous posons des questions dont les réponses ne peuvent être réellement validées/invalidées que par le professeur, si les débats que nous organisons sont très orientés et contraints par les interventions magistrales, il devient évident que la dévolution d'une responsabilité scientifique ne se fera pas ou se fera faussement et par suite que la « rétroaction » des erreurs faites par les élèves ne sera pas de nature scientifique.

Chaque erreur faite par un élève aura beaucoup moins de chances de le forcer, de forcer ses pairs à un approfondissement épistémologique puisque seul un ajustement de sa (leur) façon de penser à la pensée magistrale, seule une mise en conformité de ses (leurs) propositions avec la doctrine officielle suffiront.

Dans nos débats donc, lorsque l'élève se trompe, il faut le plus possible qu'il puisse s'en rendre compte de lui-même et/ou à partir d'une remarque d'un de ses pairs, de façon à pouvoir assumer scientifiquement sa responsabilité dans cette erreur : « Si je me suis trompé, ce n'est pas parce que j'ai oublié..., ou que j'ai mal suivi les consignes du prof., c'est d'abord parce que j'ai pensé ceci ou cela, et que ceci ou cela n'est pas adapté : je n'avais pas encore assez compris l'importance de ce paramètre... »

Et plus les interventions du professeur resteront nombreuses et insistantes et moins cette prise de responsabilité scientifique par l'élève deviendra probable...

d. La notion d'obstacle épistémologique.

Bachelard, dans son œuvre « La formation de l'esprit scientifique », met en évidence un phénomène qui crève les yeux quand on fait de la recherche, et qu'on s'empresse d'oublier dès qu'on enseigne, à savoir que ***la pensée scientifique quand elle est consistante va presque toujours contre nos préjugés et contre notre bon sens immédiat.***

De fait, même si une fois achevée, une solide théorie peut nous apparaître comme assez évidente car elle simplifie notre vision du monde, il n'en va pas de même pour le néophyte (qu'on a été et qu'on oublie avoir été) qui ne pense pas naturellement les choses comme il le fera plus tard s'il intériorise cette théorie.

Par exemple, la grande majorité des gens qui ont très correctement étudié à l'école le concept de force comme une grandeur vectorielle, continuent néanmoins en pratique²⁹ à traiter les forces avec le préjugé que nous donnent les grandeurs qui, comme les longueurs, les masses ou les volumes, se quantifient avec des nombres positifs : quand on additionne deux nombres positifs la somme est plus grande que chacun d'eux, « de même.....!!! » quand des forces s'ajoutent, on est « plus fort ! ».

Ce préjugé numérique est si bien ancré dans nos expériences de vie coutumières (addition de poids, de volume, d'argent...) qu'il balaye les théories scientifiques qui nous ont été enseignées très proprement en math. comme en physique sur les vecteurs et les forces, et qu'on a apprises très docilement sans rencontrer l'obstacle épistémologique qui marque la différence entre nombres positifs et vecteurs. Ici l'obstacle est de devoir accepter le fait paradoxal que « *des forces même très grandes et qui s'ajoutent pour produire un résultat, des forces qui « coopèrent » donc en un certain sens, peuvent néanmoins en grande partie se*

29 Une « situation extraordinaire » de débat, désigné sous le nom de « situation du jean » permet de problématiser les grandeurs vectorielles et sera décrite dans la deuxième partie.

détruire, voire s'anéantir et produire un résultat dérisoire, si elles ne travaillent pas assez dans la même direction. »

Cet exemple des vecteurs et des forces, nous le mettons en avant ici car il permet de bien mettre en exergue la prégnance des préjugés, des habitudes et du soi-disant « bon sens » qui nous barrent la route d'accès au sens profond des savoirs sophistiqués ; c'est un exemple paradigmatique important dans la mesure où l'on en trouve d'analogues un peu partout, à tous les niveaux et dans toutes les disciplines.

Mais précisément, trop souvent prisonniers de nos préjugés et de nos habitudes didactiques, nous ne voyons pas que vis-à-vis de la plupart des erreurs stables et récurrentes **« la vraie connaissance, c'est l'obstacle »** : **« comprendre »** n'est pas alors savoir faire dans des cas convenus, mais avoir **identifié ce qui nous interdit d'intégrer le sens du nouveau savoir**.

Pour arriver à intégrer cette notion d'obstacle épistémologique dans l'enseignement, il faut se donner les moyens de la conceptualiser et c'est ce qu'a fait, il nous semble, Guy Brousseau en la didactifiant dans sa théorie des situations.

En pratique donc, nous avons tendance à affirmer comme Bachelard que rien de scientifiquement important ne va de soi, n'est naturellement évident, rien n'est donné, pratiquement tout est à construire.

Mais « didactifier cette idée » pour pouvoir l'exploiter dans l'enseignement des concepts et des théories n'a rien d'évident car cela oblige à aller revisiter des préjugés didactiques très erronés et formidablement bien ancrés dans notre imaginaire collectif de professeur (bien ancrés puisque c'est en grande partie sur eux que reposent la réussite de nos propres enseignements et pour la société la réussite de l'école ou au moins des « grandes écoles » !

En effet, habituellement, quand on réfléchit au problème de la difficulté à transmettre aux élèves le sens des théories, on part du principe que les « bons » comprennent ou finiront par comprendre et qu'il nous faut seulement trouver une didactique de « simplification » qui permette aux autres, aux moins bons et aux « mauvais » de comprendre un peu plus ou un petit peu.

La notion d'obstacle épistémologique nous contraint à un changement radical de regard sur ce problème didactique : **les savoirs les plus profonds**, les plus importants, se présentent le plus souvent comme **des obstacles à la compréhension de tous**, des « bons » comme des « mauvais », et on ne peut espérer dépasser ce type d'obstacle avec nos seules explications et encore moins en simplifiant à outrance **car on n'éradique pas des préjugés forts avec de simples mises en garde et recommandations** (au moment où un maître explique, ses disciples qui l'écoutent sont évidemment « d'accord » avec lui s'il est clair et convaincant, mais, dans l'action, dès que ce maître n'est plus là pour rappeler « sa vérité », la nature reprend ses droits et les préjugés initiaux redeviennent dominants ; la différence essentielle à ce niveau entre les « bons et les mauvais » élèves, différence qui masque ce problème de non compréhension profonde pour tous, c'est que le plus souvent, si la question est « bien posée », les « bons élèves » répondent très correctement car la formulation de la question leur rappelle la réponse que le professeur attend, alors que pour les autres cela ne leur évoque rien !).

L'histoire des vecteurs et des forces dont on a parlé précédemment est totalement éloquente à cet égard car on peut régulièrement constater à leur propos et à tous niveaux l'écrasement général des théories enseignées en math. comme en physique devant les préjugés hérités de nos expériences de vie mal interprétées, et ce constat on peut le faire (cf deuxième

partie) même auprès d'étudiants de très haut niveau comme les moniteurs (futurs enseignants du supérieur en thèse de math. ou de physique).

Face à l'obligation d'enseigner une théorie, un concept important et intrinsèquement difficile à saisir dans son essence pour quelqu'un qui n'est pas déjà dans cette problématique, **face à un obstacle épistémologique donc, il faut que le professeur puisse « lâcher prise »**, puisse abandonner son espoir secret d'arriver à dépasser l'obstacle par l'explication et la monstration magistrales, l'imitation et la répétition de l'élève.

Ce que nous apporte la théorie des situations en « didactifiant » le concept d'obstacle épistémologique dégagé par Bachelard, c'est une issue à l'impasse dans laquelle tout professeur se retrouve acculé quand il doit enseigner un savoir très difficile à appréhender significativement (un obstacle épistémologique).

Dans ce type de situations, le réflexe naturel du professeur consiste à cerner le mieux possible pour lui-même toute la complexité globale du savoir à aborder, puis à construire pour ses élèves/étudiants un dédale de questions et de problèmes, **un escalier de sous-difficultés finement calibrées** qui vont permettre à la classe ou à l'amphi de surmonter « sans trop de douleur » l'obstacle qu'il a repéré : on commence par une question ou un problème très facile, puis on complexifie un peu les choses à la question suivante, et de fil en aiguille on avance dans la résolution du problème sans que jamais « les choses ne se compliquent de façon dramatique », et ainsi, de petite marche en petite marche, et donc fatalement en guidant pas à pas les élèves dans les moindres détails on arrive à leur faire gravir toute la pente.

En agissant ainsi, quand on a terminé, tout le monde est content, puisque grâce à notre manipulation didactique presque tous nos élèves sont maintenant « de l'autre côté de l'obstacle » sur lequel on craignait qu'ils ne trébuchent ; on peut donc poursuivre l'étude !

En réalité, ce dépassement est purement fictif car l'obstacle qu'on voulait faire surmonter, les élèves ne l'ont, de notre fait, jamais réellement rencontré.

On leur a donné l'illusion d'avoir compris un savoir complexe qu'ils n'ont pas vu en réalité et *qu'on leur a en un sens « interdit de percevoir » en les privant* de la rencontre avec le paradoxe fort, la contradiction globale, que ce savoir a vocation à nous permettre de dépasser, on a fait disparaître les vraies questions, les vrais problèmes dont ce savoir est réponse pertinente, solution adaptée.

Cette sorte de contradiction interne du didactique je l'avais ressentie tout au long de mes études secondaires comme supérieures, nous la percevions bien à cette époque dans nos recherches pragmatiques et nous étions bien décidés en principe à chercher à éviter le piège du découpage des difficultés en petites unités non signifiantes en soi, mais... quand en pratique nous cherchions à aborder un sujet délicat en introduisant une situation problématique, nous étions vite rattrapés par les habitudes didactiques et la peur du vide : l'habitude de ré-expliciter deux fois, trois fois, la tendance à imaginer de multiples exemples illustreurs et des métaphores simplificatrices pour « avancer coûte que coûte même quand ça bloque trop ».

Finalement nous restions dominés par la peur instinctive de tout professeur qui veut protéger ses élèves/étudiants, dominés par la crainte que la plupart des élèves/étudiants qui ne sont pas forcément des génies, ne tirent aucun profit réel d'une rencontre trop brutale avec l'obstacle.

En fait, nous pensions sans le dire explicitement que nous n'avions pas le choix : une fois nos élèves/étudiants mis face à une vraie difficulté dont il était clair qu'ils ne s'en sortiraient pas seuls, il fallait bien les guider pour les mettre assez vite sur le chemin d'un

début de résolution, quitte à leur montrer après coup la pertinence de la solution que nous venions de leur « imposer » : « voyez de quelle façon ce concept, cette méthode, cette technique nous tirent d'un mauvais pas ! ».

Nous succombions donc vite à la tentation d'introduire des sous-questions et des sous-problèmes, en principe bien évidemment non pour dénaturer la problématique, mais pour la bonne cause, pour préparer le terrain, pour le débarrasser de trop d'embûches, pour faciliter les prises de conscience et... « cela marchait toujours ! ».

Nous finissions donc par oublier l'essentiel, i.e. que le vrai but du problème, du débat c'était la rencontre de l'obstacle, l'obligation pour beaucoup d'élèves/étudiants de se poser des questions, de se rendre compte qu'il n'est plus possible de continuer à penser comme ils le faisaient jusque là (par exemple arriver à se dire que quand on ajoute deux forces, ce n'est pas forcément mieux ! on n'est pas forcément plus fort !).

L'essentiel donc c'est qu'enfin ils mettent en doute ce qui leur semblait jusque là évident/intangible et qui était en partie faux, c'est donc qu'ils se posent de bonnes questions et non le fait qu'ils finissent par trouver assez vite « la solution » à force d'être guidés et conduits pas à pas vers cette bonne solution !

En pratique, notre façon de les pousser vers la « bonne solution » marchait très bien à court terme, mais beaucoup moins bien à moyen et long terme (les élèves ne reconnaissaient pas la difficulté rencontrée quand elle se représentait un peu plus tard ou ailleurs, ils ne se rappelaient pas bien comment on l'avait dépassée), ce qui ne nous semble pas très étonnant après coup car, lorsque nous avons commencé à analyser nos situations sous l'éclairage de la théorie des situations (en particulier en terme de « situation fondamentale » et de « dévolution d'une responsabilité scientifique ») ***nous avons été obligés de reconnaître que bien souvent ce qu'on avait laissé à l'initiative et sous la responsabilité de l'élève/étudiant était un peu dérisoire par rapport au problème prétendument abordé.***

Mine de rien, les unes derrière les autres, nos aides tendaient souvent à vider la situation problématique de son épaisseur épistémologique, on obtenait rapidement le bon résultat certes, mais nos questions intermédiaires avaient interdit à nos élèves, à nos étudiants de buter véritablement sur l'obstacle, de s'y frotter assez durablement pour qu'ils ne puissent plus l'ignorer.

Ce dernier aspect « ne pas faire buter fortement et longuement l'élève sur l'obstacle » n'était pas jugé par nous comme une erreur didactique, puisque comme beaucoup de professeurs nous estimions dans une didactique un peu trop naïve qu'il n'était pas impossible, grâce à de très bonnes explications, de faire dépasser à nos élèves un obstacle qu'ils n'auraient pas vraiment rencontré en tant que tel.

Depuis, nous avons bien été obligés de constater qu'en terme d'efficacité didactique, moins la situation que l'on met en débat permet à l'élève/étudiant d'affronter durement et dans la durée l'obstacle réel, et moins cette étude produit d'effets positifs à moyen et long terme et sur d'autres sujets.

Le formidable apport de la théorie des situations pour nous ici, a donc été de nous pousser à traiter le problème de l'enseignement des savoirs très complexes en termes d'obstacles épistémologiques, car adopter ce point de vue nous a souvent évité de continuer à partir dans la mauvaise direction comme nous l'avions souvent fait auparavant, éviter donc de courir inlassablement année après année après ***la chimère de la découverte de « la bonne explication » !***

Notre thèse aujourd'hui sur ce point est que : *s'il s'agit d'un réel obstacle épistémologique, il n'y aura pas de bonne explication, de bonne présentation, d'explication/présentation auto-suffisante.*

Dans cette perspective, l'essentiel maintenant pour que la classe ou l'amphi progresse réellement n'est donc plus (comme on en a instinctivement envie) de lui faire contourner l'obstacle grâce à cette bonne explication/présentation, mais au contraire de lui permettre de le rencontrer, de l'affronter car *une fois l'obstacle clairement reconnu et identifié, ce n'en sera probablement plus un véritable pour la majorité de nos interlocuteurs !*

Ce changement de point de vue a un deuxième avantage et non des moindres, il permet au professeur de sortir par le haut de la contradiction didactique habituelle dans laquelle il se trouve pour enseigner « du difficile » dans une classe hétérogène : le plus souvent ce qui est bon en terme d'explication pour les « forts » est mauvais pour les « faibles » et vice-versa.

Ici cette opposition entre forts et faibles peut s'atténuer, car face à un savoir difficile à enseigner le professeur doit pouvoir se dire : s'il y a un réel obstacle épistémologique, c'est un obstacle à la compréhension pour tous et les « bons » vont eux aussi devoir s'y mettre pour gagner en compréhension si je les laisse aller buter sur cet obstacle, i.e. si je ne leur fournis pas tout de suite le moyen de contourner l'obstacle en leur donnant immédiatement clef en main le bon algorithme, la bonne présentation qui évite soigneusement de leur faire rencontrer les éventuelles contradictions.

À partir de ce point de vue, si la situation problématique que le professeur organise a pour but essentiel de faire prendre conscience d'un vrai problème, cette prise de conscience sera difficile pour tous et en un certain sens plus pour les « bons élèves » qui ont souvent, par leurs connaissances et une meilleure maîtrise des techniques, des moyens qui leur permettent de résoudre un problème sans l'affronter réellement, ce qui n'est pas le cas de leurs camarades « moins forts » qui butent plus spontanément sur toutes les difficultés.

Ce retournement face à l'enseignement des savoirs essentiels, cette autre didactique faite pour affronter la grande difficulté d'introduire concepts et théories **sans continuer à tout miser sur la force des bonnes présentations logiques, des explications lumineuses, claires, rigoureuses et exhaustives**, cette cohérence didactique qui permet d'envisager de pouvoir « lâcher prise » sur l'explication magistrale sans pour autant abandonner l'obligation de faire le cours, sans édulcorer la présentation d'une théorie, c'est précisément ce que nous a apporté la théorie des situations (théorie initialement pensée et expérimentée par Guy Brousseau et son équipe de professeurs et de chercheurs à l'école primaire, mais qui nous a fourni des concepts, des lignes directrices et des pistes très fécondes à explorer tant dans l'enseignement secondaire que supérieur).

C'est cette théorie des situations qui nous a poussés à pointer les conditions didactiques de ce face à face élève-savoir à partir de contraintes et de ressorts essentiellement de nature épistémologique : *l'élève à qui on soumet un « bon problème » (vis-à-vis d'un savoir) dans un environnement, « un milieu » adéquat, va « devoir » à un moment ou à un autre (sans sollicitation, sans induction permanente du prof) se trouver face aux contours non factices d'un savoir que le professeur va alors pouvoir dans un deuxième temps lui enseigner en compréhension !*

Quand ses interlocuteurs auront vécu en tant qu'acteurs la situation problématique qu'il leur propose, le professeur n'aura plus devant lui au moment où il « fera cours » des élèves/étudiants qui se contentent de copier scolairement ce qu'il leur dit, il aura à instruire des

épistémologues qui cherchent à relier rationnellement ce qu'il présente maintenant sous une forme achevée à ce qu'ils ont erratiquement fait apparaître dans le débat auparavant : des sujets donc qui auront beaucoup plus de chances de donner une signification scientifique pertinente à la présentation magistrale (institutionnalisation) qu'il leur fera in fine pour conclure.

Depuis quelques paragraphes je dis « nos » recherches, car à partir de ce moment (les années 80) j'ai pu d'un côté grâce aux IREM aller régulièrement travailler avec des collègues du secondaire dans leurs classes, et d'un autre côté j'ai pu bénéficier du fait que quelques collègues du supérieur effectuant leurs recherches en didactique soient venus assez régulièrement observer les débats que j'organisais dans mes cours à la fac.

Dans un deuxième temps nous analysons longuement ce que nous avons organisé et observé sous cet éclairage théorique pour mieux comprendre ce qui fonctionnait ou non dans ces débats des élèves ou des étudiants, pour imaginer ensuite des situations didactiques qui nous permettraient de mieux problématiser les savoirs afin d'élargir la participation des uns et des autres et obtenir un véritable engagement scientifique de chacun dans ces débats contradictoires. (Nous avons essayé de construire des « situations fondamentales » sans jamais y arriver totalement bien sûr, car ce sont une sorte d'idéal, de point de mire ou d'asymptote qu'on n'atteint jamais complètement, mais dont la recherche nous fait énormément progresser dans la compréhension du savoir lui-même et dans l'identification des conditions à respecter pour que nos élèves/étudiants puissent s'en saisir en compréhension).

Cette théorie des situations nous a ainsi forcés à une prise de conscience salvatrice car elle pointe avec force et pertinence ce qui manque très souvent dans des organisations constructivistes un peu trop naïves : la conscience forte que c'est d'abord la consistance épistémologique de la situation qui doit provoquer la rencontre de l'élève avec l'essence même du savoir et non pas principalement l'habileté (la pente naturelle d'un professeur) avec laquelle le professeur va pratiquer une sorte de maïeutique en donnant la parole aux élèves de façon très ciblée et en prenant en compte leurs propositions de façon très orientée vers la réponse attendue.

Elle nous a fait prendre pleinement conscience de ce que l'expérience des « sixièmes modernes » m'avait laissé entrevoir, à savoir que ces « habiles remarques et suggestions du professeur » qui ont l'heureux effet de faciliter la participation des élèves/étudiants peuvent aussi et à l'insu de tous ne provoquer que la rencontre de l'élève avec les apparences d'un savoir.

Les bonnes réponses induites par le professeur et qui font heureusement avancer le débat peuvent masquer le fait que peut-être pour beaucoup d'élèves, voire pour la totalité, l'essentiel est resté dans l'ombre (ce qui peut très facilement se produire à l'insu du professeur et des élèves dans un débat où le professeur donne son avis sur tout et tire les vers du nez de ses interlocuteurs - ce qui arrive nécessairement si la situation est trop pauvre au niveau épistémologique, trop fermée, ne permet pas d'oppositions fortes ou si le professeur ne fait pas assez confiance à l'intelligence des individus et du groupe).

3) La théorie anthropologique

*D'une certaine façon, on peut dire que cette théorie développée par Yves Chevallard et son équipe à l'IREM de Marseille nous invite à regarder en face ce qu'on **ne voudrait surtout pas voir quand on enseigne**, à savoir : **l'improbable rencontre directe de***

l'élève/étudiant et du savoir dans tout enseignement qui suit les canons de l'institution école.

Paradoxalement donc cette théorie qui, contrairement à la théorie des situations, « interdit » en un certain sens à tout débat en classe ou en amphi d'être proprement scientifique, nous a beaucoup éclairés elle aussi.

En effet, cette théorie démonte sans complaisance les mécanismes qui font qu'au delà des apparences de consistance épistémologique que donnent des programmes très chargés et des sujets d'examen souvent très difficiles pour qui n'en connaît pas les clefs, il se produit fatalement dès qu'on enseigne dans une institution scolaire, une réduction terrible de ces savoirs dans la transposition didactique qui s'effectue un peu à l'insu de tous pour que le « savoir des savants » puisse être enseigné à des élèves/étudiants. De fait cette transposition peut par moments conduire à cette pauvreté, cette sorte de vide épistémologique contre lesquelles nous nous battons ici en instaurant une forme de « débat scientifique en cours ».

Sous cet éclairage on prend conscience que ce dysfonctionnement du sens à l'école ne serait pas, comme beaucoup le pensent (comme je le pensais initialement), principalement le fait de la mauvaise volonté, du manque d'habileté ou de l'ignorance des professeurs et/ou du bas niveau des élèves, mais résulterait d'abord du fait même d'enseigner et d'apprendre dans une institution scolaire.

Cette théorie « négative » dans le sens où elle rend cruellement compte d'une réalité de l'école qu'on aimerait bien ne pas voir, peut être totalement paralysante si on la prend comme une sorte de pétition de principe affirmant que tout ce que l'on constate de négatif et qu'on déplore dans cette école dès qu'on se donne la peine d'ouvrir les yeux est somme toute assez normal car inéluctable.

Mais on n'est pas obligé d'avoir cette lecture purement négative de cette théorie qui nous interdirait tout espoir d'évolution de l'enseignement en direction de la construction de plus de sens profond ; au contraire, pour nous, couplée avec la théorie des situations, cette seconde théorie a été un formidable aiguillon et un avertisseur pertinent de danger : la théorie des situations nous montrait l'importance de la consistance épistémologique des situations à mettre en débat, cette théorie anthropologique nous interdisait, elle, d'avoir l'angélisme de croire qu'à partir d'une bonne situation, les débats que nous organisions dans nos classes ou nos amphis allaient être réellement scientifiques parce qu'on les nommaient tels, qu'ils étaient vivants et qu'ils débouchaient régulièrement sur les conclusions de la communauté scientifique.

Si nous ne voulions pas seulement nous faire plaisir en réalisant une innovation pédagogique spectaculaire, si nous voulions réellement que ces débats de la classe ou de l'amphi ne soient pas une façon de plus de faire illusion, de masquer la misère épistémologique de nos enseignements pour la majorité de nos élèves/étudiants, il nous fallait très sérieusement travailler la communauté classe ou amphi, le rôle et la position du maître et de l'élève pour que le débat de nos élèves/étudiants ne se réduise pas à notre insu et contre notre volonté déclarée à un simulacre de comportement intellectuel authentique dans toute classe ou amphi non extraordinaire.

Et surtout, si nous voulions sortir du particularisme et faire en sorte que le « principe du débat scientifique en cours » soit utilisable et utilisé par d'autres professeurs que par ses auteurs initiaux, il nous fallait en élucider les mécanismes essentiels, les variables pertinentes,

les aspects robustes, les faiblesses et les limites ; bref il nous fallait théoriser ce qui jusque là était resté une pratique mise en œuvre et observée par quelques-uns.

Il nous fallait délimiter les conditions par lesquelles un professeur « standard » pouvait utilement se saisir de ce procédé riche mais complexe pour mieux faire réfléchir l'ensemble de ses élèves ou de ses étudiants.

A partir de ces deux éclairages théoriques principaux, le travail constant depuis près de trente ans de nos différents groupes d'expérimentation et de recherche a consisté à rassembler les conditions épistémologiques et anthropologiques de cette rencontre directe de l'élève et du savoir que postule la théorie des situations et que la théorie anthropologique annonce pour le moins semée d'embûches.

Nous sommes toujours partis du principe que le professeur à qui nous nous adressions n'était pas un super prof. ayant de super élèves/étudiants, mais était bien ce professeur ordinaire que nous sommes tous quand nous nous adressons aux élèves d'une classe ou aux étudiants d'un amphi non extraordinaire, i.e. à ces élèves ou étudiants qui arrivent dans un cours, un TD ou un TP avec tout l'héritage des habitudes scolaires acquises au fil des années.

Pour cela nous nous sommes mis à travailler de façon anthropologique le milieu institution scolaire et universitaire fait de professeurs, du groupe classe ou amphi, d'un système d'évaluation, etc., afin de voir dans quelle mesure le rapport au savoir que ce milieu induit inéluctablement sur chaque élève/étudiant ne risquait pas de jouer contre ce qui avait été organisé sur un plan purement épistémologique.

En effet, on peut observer que la mise en place de situations qui « problématisent bien » les savoirs, ne peut jouer son rôle de catalyseur, d'apport d'énergie pour aider l'élève/étudiant à dépasser les obstacles épistémologiques qu'il doit nécessairement affronter pour comprendre, que si ces situations sont proposées dans un contrat didactique qui ne les rend pas, a priori, inutiles, ridicules ou dérisoires : **« à quoi servirait-il de prendre le risque de se tromper, d'écouter les autres, de chercher à leur expliquer et à les convaincre si la seule chose qui compte véritablement dans la classe ou l'amphi pour chaque élève/étudiant est de trouver le premier le résultat juste ! »**

Ainsi, pour résumer ces quatre étapes, on peut dire que c'est d'abord à partir d'un sentiment personnel de vide épistémologique de beaucoup trop d'enseignements et de l'impossibilité d'exister en tant que personne propre à l'école, puis avec la preuve pragmatique apportée tant au collège qu'à l'université qu'une épistémologie beaucoup plus consistante pouvait se partager dans un enseignement, et enfin grâce à l'apport de théories didactiques qui fixent de façon à la fois complémentaire et contradictoire le cadre d'un possible partage des responsabilités intellectuelles dans un enseignement ordinaire, que le "principe du débat scientifique" que nous vous présentons ici s'est peu à peu structuré.

C'est sur ces bases que nous expérimentons depuis près de trente ans son usage au quotidien de nos enseignements, à tous les niveaux du secondaire et du supérieur.

II) Évolution de nos recherches au cours de ces trente dernières années

1) *L'inflexion engendrée par la rencontre avec la recherche en didactique*

Comme nous l'avons déjà souligné, l'infléchissement de nos recherches initiales sur le « débat scientifique » provoqué par la rencontre des deux grandes théories didactiques que nous avons évoquées, s'est principalement effectué autour du thème central des conditions qui favorisent/s'opposent à la prise de responsabilité intellectuelle de l'élève/l'étudiant.

En effet, ces deux théories montrent l'importance de la nature des contrats didactiques qui se nouent tacitement à chaque moment entre professeur et élèves/étudiants, contrats qui déterminent en grande partie la façon dont la responsabilité intellectuelle est partagée/distribuée entre maître et élèves et par suite la façon dont une didactique précise permet ou non la construction du sens profond des savoirs mis en jeu dans la classe ou l'amphi.

De façon plus précise :

- *La théorie anthropologique nous montrant très clairement* à quel point les différents contrats didactiques qui s'établissent « spontanément » entre professeur et élèves sont beaucoup moins dictés par la nature profonde du savoir et sa complexité que par l'environnement institutionnel dans lequel ce savoir apparaît, *il nous fallait davantage tenir compte* du fait que l'interprétation du discours, le sens des actions du professeur et des élèves étaient en permanence surdéterminés par le fait qu'un professeur et des élèves réunis dans une classe ou un amphi sont d'abord les sujets d'une institution qui se donne pour fonction d'enseigner et d'apprendre.

Il nous fallait donc mieux prendre en compte le fait que ces positions institutionnelles de maître et d'élèves ont tendance à installer tacitement toute la responsabilité de la vérité et de la pertinence dans le camp du professeur et par suite finissent par priver l'élève/l'étudiant de la responsabilité intellectuelle qu'il doit absolument assumer pour pouvoir construire un véritable sens profond.

- *La théorie des situations* indiquant clairement avec la notion de situation fondamentale et de dévolution d'une responsabilité scientifique que la responsabilité intellectuelle ne se transmet pas ou très peu par simple injonction paradoxale du type « soyez responsables... réfléchissez un peu, etc. etc. ! » mais plutôt par une série d'actions subtiles et indirectes *qui mettent le sujet élève/étudiant en situation « d'appétit de prendre une responsabilité intellectuelle »*, en état de la prendre et de l'assumer dignement, cela nous a obligés à regarder de façon plus systématique de quelle manière les situations de recherche d'abord, la gestion du débat ensuite et les périodes d'institutionnalisation et de mise en application enfin pouvaient chacune à leur façon redonner au sujet épistémique élève/étudiant cet appétit de comprendre et cette possibilité de prendre une part effective de responsabilité intellectuelle.

C'est ainsi que pour rééquilibrer le partage de cette responsabilité intellectuelle entre professeur et élèves/étudiants, il nous est progressivement apparu comme de plus en plus déterminant de **raviver la présence en classe ou dans l'amphi d'une autre institution** à laquelle professeur et élèves pourraient se sentir rattachés de façon naturelle, **« la communauté scientifique »**, dont la fonction principale n'est plus d'enseigner et d'apprendre mais de **comprendre et d'établir ce qui est pertinent et vrai**.

Une bonne part de notre travail de recherche au cours de ces années a consisté à trouver des moyens efficaces de constituer dès le début d'un enseignement (notamment au moyen de la construction de situations introductives extra-ordinaires, nous y reviendrons) une **« communauté scientifique classe ou amphi »** qui par essence ait pour fonction de conférer à chacun de ses membres le droit et l'obligation de se saisir de la part de responsabilité intellectuelle que sa position d'élève/étudiant tend à lui interdire d'assumer de par son appartenance à l'institution école.

De façon pratique, en nous inspirant de la notion de situation fondamentale, nous sommes partis du principe que les questions et problèmes que nous devons soumettre à nos élèves/étudiants pour les amener à assumer une réelle responsabilité intellectuelle dans l'étude d'un nouveau savoir devaient être **construits dans la forme et dans le fond de façon ad hoc pour avoir de bonnes chances de provoquer « assez naturellement » sur le plus grand nombre de participants une effective rencontre élève-savoir** (assez naturellement signifie sans devoir compter sans cesse sur la compétence, l'habileté, le charisme, la magie du professeur pour faire accoucher la classe ou l'amphi des bonnes idées et des bonnes propositions).

Bien évidemment nous avons continué à penser que l'attitude du professeur dans la classe ou l'amphi était déterminante, mais nous avons davantage cherché à faire en sorte que **le moteur de la prise de responsabilité intellectuelle de l'élève/étudiant se trouve en grande partie dans la qualité de situation proposée : sa consistance épistémologique d'abord et ensuite la bonne adéquation du problème proposé d'un côté avec la nature du savoir à enseigner, et de l'autre avec le milieu des connaissances effectivement disponibles chez les élèves/étudiants**.

2) Corriger les excès consécutifs à tout changement de paradigme.

Voici trois excès qu'il est difficile d'éviter au départ quand on découvre l'efficacité du **« débat scientifique »** :

a. Magnificence du débat et péjoration du travail didactique plus classique.

Il est tellement rare dans un enseignement classique qu'un professeur ouvre un vrai « débat scientifique » en cours et cherche à dévoluer une **véritable responsabilité intellectuelle** à ses élèves ou à ses étudiants que (même si dans nos pratiques effectives l'équilibre était en grande partie maintenu) nous avons eu tendance **dans un premier temps à ne mettre en avant** dans nos communications avec l'extérieur (notamment avec les enseignants) **que les phases de « recherche et de débat », à ne montrer que les situations « extra-ordinaires »** de type « situations fondamentales », à ne désigner comme importants que les savoirs de type « obstacles épistémologiques », **cachant de ce fait toute la nécessité du travail d'institutionnalisation plus classique** (donc en particulier du cours magistral)

indispensable pour mettre de l'ordre dans le désordre qu'induit fatalement le débat et pour introduire et expliquer ce qu'aucun débat ne peut introduire et/ou expliquer à un coût raisonnable.

Cela cachait aussi d'une certaine façon tout le travail sur les propriétés élémentaires (qui ne se présentent pas comme des obstacles épistémologiques en soi) nécessaires pour introduire un concept, établir un résultat important, installer une théorie de façon cohérente et complète (tout ce travail, nous continuions à le faire dans nos pratiques mais il n'apparaissait plus ou plus assez fort dans ce que nous en montrions).

Pire encore, **les phases de « débat » révélant le type de contresens et de non sens que l'on peut débusquer et corriger en profondeur** alors qu'ils restent cachés et/ou non rectifiables dans un constat didactique plus institutionnel, ces mêmes phases de débat **révélant fréquemment aussi une intelligence et une créativité des individus et des groupes qui restent souvent en sommeil et sont insoupçonnables dans un mode plus institutionnel**, nous avons tendance à faire apparaître dans nos relations avec l'extérieur (et peut-être aussi de façon non consciente dans notre propre jugement sur ce qui est essentiel) **les phases de « débat » comme la seule partie noble et intéressante de l'enseignement, comme l'unique endroit où pouvait se construire un sens profond**, péjorant ainsi de fait sans le vouloir les phases institutionnelles et oblitérant en partie le rôle que ces phases jouent de façon très complémentaire avec les phases de débat pour la construction du sens profond.

Dans le même état d'esprit on tombe facilement sur un second excès :

b. Magnificence de la neutralité du professeur allant jusqu'à lui interdire de faire son travail propre de professeur explicateur, garant d'une certaine vérité et d'une certaine pertinence.

Il est tellement rare dans un enseignement classique que le professeur n'intervienne pas sur le fond à propos de tout, pour désigner ce qui est pertinent ou non, vrai ou faux, important ou pas, bon ou mauvais..., que nous avons énormément insisté dans nos relations avec les collègues sur le caractère déterminant de la neutralité épistémologique du professeur dans un débat, sur la nécessité absolue qu'il ne coupe pas la branche sur laquelle le groupe classe ou amphi s'était installé en envoyant indirectement/inconsciemment des indications sur « la bonne » solution, i.e. en déproblématisant sans le vouloir le problème, en répondant lui-même à la question qui avait été initialement conçue pour faire réfléchir ses élèves/étudiants, pour les forcer à se poser des questions, à prendre des responsabilités intellectuelles ; tout cela nous semblait si important **que nous avons pu laisser entendre et probablement poussé certains à croire (nous nous en sommes aperçus après coup par les remarques faites en retour sur des vidéos par des collègues qui étaient surpris de nous voir beaucoup intervenir) que pour que le débat soit valable, soit scientifique, il fallait absolument que le professeur n'intervienne sur rien et se contente juste de donner la parole.**

Il est clair pour nous aujourd'hui (mais ne l'a peut-être pas toujours été aussi nettement) qu'un professeur qui suivrait à la lettre une telle consigne de neutralité ne pourrait aller bien loin ni bien longtemps en donnant ainsi la parole à la classe ou à l'amphi, car un tel débat en cours, non structuré par les interventions du professeur, ne serait probablement « pas du tout scientifique » :

- soit il partirait dans tous les sens,

- soit il s'envolerait dans le tourbillon d'échanges de plus en plus rapides et passionnés entre quelques intervenants, échanges laissant la grande majorité de leurs pairs hors de toute possibilité de saisir les enjeux de ce qui serait débattu,
- soit il se bloquerait très vite, ou plus exactement ne se mettrait pas en route car il serait une simple juxtaposition d'idées qui ne se confronteraient pas entre elles,

tout cela parce *qu'aucun élève/étudiant ne peut structurer lui-même des paroles divergentes* et/ou contradictoires sur un domaine qu'il ne connaît pas encore, surtout en présence d'un professeur qui est présent mais refuse de faire ce qui lui revient en propre étant le seul à pouvoir le faire : re-cadrer les propositions, re-situer les enjeux du débat, faire un certain nombre de choix de priorité, etc. etc.

Toujours dans le même état d'esprit on tombe facilement sur un troisième excès :

c. *Balayer un peu vite d'un revers de main toutes les raisons profondes qui interdisent à beaucoup de professeurs d'envisager comme raisonnable un tel changement de paradigme didactique.*

Quand on découvre à quel point une démarche comme celle du « débat scientifique en cours » est d'une grande efficacité et comment elle débloque une grande partie des verrous qui semblent interdire à l'école de se transformer pour donner plus de place à la construction du sens profond, on est forcément assez enthousiaste et on a du mal à refréner un certain réflexe prosélyte qui vous pousse à ne pas voir les résistances que l'on rencontre soi-même pour faire marcher les choses aussi bien qu'on le raconte ; on a donc tendance à prendre pour de l'obscurantisme et de la mauvaise foi les résistances dont font preuve les collègues qui allèguent des raisons pour s'opposer à ce changement de fond.

Ainsi on a vite tendance à mettre dans le même sac les résistances de bonne foi et bien fondées de nos collègues et celles qui, il faut le reconnaître aussi, le sont beaucoup moins.

De façon paradoxale (vu l'importance donnée ici à la notion d'obstacle épistémologique) on a facilement tendance à penser que changer de paradigme d'enseignement n'est pas pour un professeur surmonter un obstacle épistémologique et relève seulement d'une simple décision personnelle : une fois qu'on lui a montré en quoi le nouveau paradigme prend bien en considération ce que l'ancien négligeait, le changement doit s'imposer à lui... s'il est de bonne foi !

Une bonne partie de l'évolution de nos recherches, surtout ces dernières années, a donc consisté à essayer de corriger ces différents excès, en particulier à *mieux délimiter l'équilibre à trouver entre* :

- les phases « problématisantes » et les phases « institutionnelles »,
- une grande neutralité du professeur sur certains aspects et au contraire une obligation d'interventions magistrales sur d'autres aspects,
- les résistances fondées des collègues à ce changement de paradigme et le refus délibéré de certains pour ouvrir les yeux sur une réalité didactique trop réductrice du sens profond des concepts et des théories.

Il nous semble que nous avons mieux compris pourquoi, dans une période de transition, le professeur est plus ou moins obligé d'être excessif - comme nous l'avons été nous-mêmes - pour arriver à effectuer dans ses actes de professeur le changement de paradigme que nous

proposons ici de façon théorique. Le professeur qui souhaite vraiment changer doit être excessif dans un premier temps pour ne pas rester dans un « entre deux » sans efficacité didactique, car sans ressorts et sans cohérence. Nous essayons seulement de voir par quels stades intermédiaires il pourrait passer pour retrouver un nouvel équilibre plus rapidement que nous ne l'avons fait nous-mêmes, car cet excès (nécessaire d'une certaine façon pour permettre l'apprentissage du professeur) a toujours un coût didactique pour les élèves/étudiants que l'on doit tendre à minimiser.

Plus précisément, ces trois évolutions vont être traitées dans la suite de la façon suivante :

d. Évolution de l'équilibre entre « phases de débat » et « phases institutantes »

Dans le chapitre 3 suivant, nous allons en introduisant deux types de contrat didactique très différents mais totalement complémentaires marquer de façon très claire comment nous envisageons aujourd'hui un bon équilibre entre phases de recherches et phases d'institutionnalisation ; cet équilibre présenté dans ce chapitre 3 au niveau des principes sera retravaillé de façon pratique dans la partie IV quand il s'agira de voir de façon très pragmatique comment et pourquoi alterner à des moments précis des phases magistrales et des phases de « recherche/débat ».

Au tome II, quand nous théoriserons ce « principe du débat scientifique », nous franchirons le pas en en modifiant la dénomination.

Nous nommerons « *principe du cours constructiviste* » ce nouveau paradigme, montrant par là que l'essentiel n'est pas le débat seul, mais repose sur la construction de deux piliers de sens qui doivent être équilibrés : le pilier des phases de recherche/débat et le pilier des phases institutionnelles, les cours se construisant précisément en exploitant la synergie qu'on peut établir entre ces deux piliers.

e. Évolution dans notre questionnement autour des interventions du professeur dans le débat

Pendant les débats, notre réflexion sur les interventions du professeur s'est focalisée sur l'objectif suivant : comment concevoir la répartition entre la neutralité du professeur à propos de certaines propositions d'élèves et ses interventions magistrales pour organiser ces propositions d'élèves afin de donner à chaque instant une responsabilité intellectuelle à la classe ou à l'amphi qui soit équilibrée/adaptée, i.e. une responsabilité qui d'un côté soit à la hauteur des enjeux épistémologiques du savoir travaillé à ce moment précis, mais qui de l'autre ne se laisse pas emporter dans les dérives constructivistes (*le mythe ou le fantasme de l'élève/étudiant inventeur, découvreur de son propre savoir*).

Comment faire pour que l'organisation du débat, la dévolution d'une responsabilité intellectuelle aux élèves/étudiants, qui vont demander au professeur une énergie, une créativité, un à-propos importants, *restent des moyens d'accès au sens profond des savoirs et ne deviennent pas des fins en soi ?*

Quand à différents endroits nous vous proposerons des situations que nous avons expérimentées à plusieurs reprises, nous essayerons de pointer de quelle façon **le professeur**

doit, nous semble-t-il, adopter au cours du débat de ses élèves/étudiants deux postures en apparence très contradictoires :

- **d'un côté, il doit très peu intervenir** pour apporter des réponses assurées aux questions qu'il pose et/ou que ses élèves/étudiants posent, afin de les forcer à se faire une opinion propre sur la situation, puisqu'en tant que professeur, il part du principe que dans ces périodes de recherche/débat, c'est en tentant de surmonter par eux-mêmes les doutes et contradictions, en prenant de véritables initiatives intellectuelles que ses élèves/étudiants vont le plus certainement arriver à entrer dans une authentique problématique scientifique ;
- **d'un autre côté, de façon paradoxale, il (le professeur) doit aussi beaucoup intervenir magistralement** sur la forme et sur un certain fond pour aider les élèves à structurer leur pensée, à réorganiser leurs raisonnements, *car il sait qu'il n'y a aucune raison pour que dans le temps très court de l'enseignement, des élèves, des étudiants, si intelligents soient-ils, puissent inventer eux-mêmes une théorisation de leurs approches erratiques et ainsi déboucher miraculeusement sur les savoirs que le professeur seul peut instituer convenablement.*

En fait, derrière les propositions qui émergent dans le débat des élèves il y a des connaissances très essentielles que la communauté scientifique a erratiquement élaborées sur des périodes parfois très longues, et c'est dans l'organisation de toutes ces idées éparses et souvent contradictoires en une théorie cohérente que se trouve un héritage culturel que des élèves/étudiants ne redécouvriront pas seuls (même s'il sont géniaux) et que l'école se donne précisément pour mission de transmettre par l'intermédiaire du professeur au plus grand nombre possible des élèves/étudiants auxquels elle s'adresse.

Paradoxalement donc, nous pensons aujourd'hui (et nous l'avions insuffisamment souligné dans des écrits antérieurs) que l'essentiel n'est pas que spontanément les élèves/étudiants mènent quasiment seuls le débat assez loin et que le professeur puisse se dire à la fin qu'il a assisté à un très « beau débat » (tant mieux si cela se produit mais là n'est pas l'essentiel, là n'est pas le but).

Ce qui est délicat à gérer, c'est que le professeur « ne doit pas » trop intervenir pendant tout un temps, « ne doit pas » perdre espoir dès que « le cours n'avance plus », « ne doit donc pas » réorienter et/ou écourter le débat dès qu'il ne part pas dans la direction souhaitée, car c'est souvent après un temps mort ou à partir d'une digression non souhaitée a priori qu'ont lieu les interventions les plus importantes (parfois les plus inespérées).

Dans la quatrième partie nous essayerons donc de mieux préciser quels critères peuvent aider à trouver en pratique un bon équilibre entre trop et trop peu :

- sauf exception en cas de blocage complet, tant que des questions importantes ne sont pas apparues, tant que les élèves/étudiants ne se sont pas vraiment frottés aux vraies difficultés, n'ont pas fait de propositions qui donnent sens au savoir et/ou traduisent des conceptions fortement erronées qu'il va falloir faire évoluer, le professeur « ne doit pas » trop chercher à reprendre les choses en mains,
- par contre, une fois que le débat a vraiment permis de problématiser la situation pour une majorité d'élèves, **le professeur « ne doit pas » davantage faire durer le débat** afin de faire construire in extenso l'explication, la preuve, la théorie ; **« il peut et doit » absolument, à notre sens, enseigner magistralement la réorganisation complète de l'explication de la preuve ou de la théorie, de tout ce qui n'a été**

jusque là que des bribes d'explications de preuves et de théories (qui sont le propre des phases de problématisation).

Cette réorganisation, le professeur « doit », il nous semble, la faire seul très magistralement comme cela se fait dans un cours classique, et néanmoins de manière très différente dans la mesure où il veille maintenant à faire sans cesse le lien entre ce qu'il présente de façon assez formelle et ce qui a été directement ou indirectement mis en discussion dans les phases de débat.

Le professeur part alors du principe que si « grâce au débat » ses élèves/étudiants partagent pour l'essentiel sa problématique, ils peuvent entendre maintenant en bonne compréhension un discours magistral clairement formalisé (et par suite ils peuvent comprendre sur le fond un discours qui, s'il n'était pas contextualisé de cette façon, resterait par contre assez insignifiant pour ceux qui seraient restés hors de sa problématique propre).

f. Évolution dans notre analyse des résistances au changement de paradigme

Nous analyserons longuement dans la troisième partie les raisons qui « interdisent » d'une certaine façon à l'école et à ses professeurs d'envisager un tel changement de paradigme, et au Tome II nous essayerons de théoriser ce qui rend compte du constat suivant : le système très normatif et monstatif classique d'un côté et le principe du « cours constructiviste » de l'autre, sont deux paradigmes didactiques très stables qui jouent le rôle d'attracteurs dans toute réforme pédagogique.

Cette théorisation permet d'expliquer pourquoi, sans mauvaise foi ni volonté délibérée de résister à tout changement pédagogique de fond, il est néanmoins très difficile de passer du paradigme dominant classique au paradigme du « cours constructiviste ».

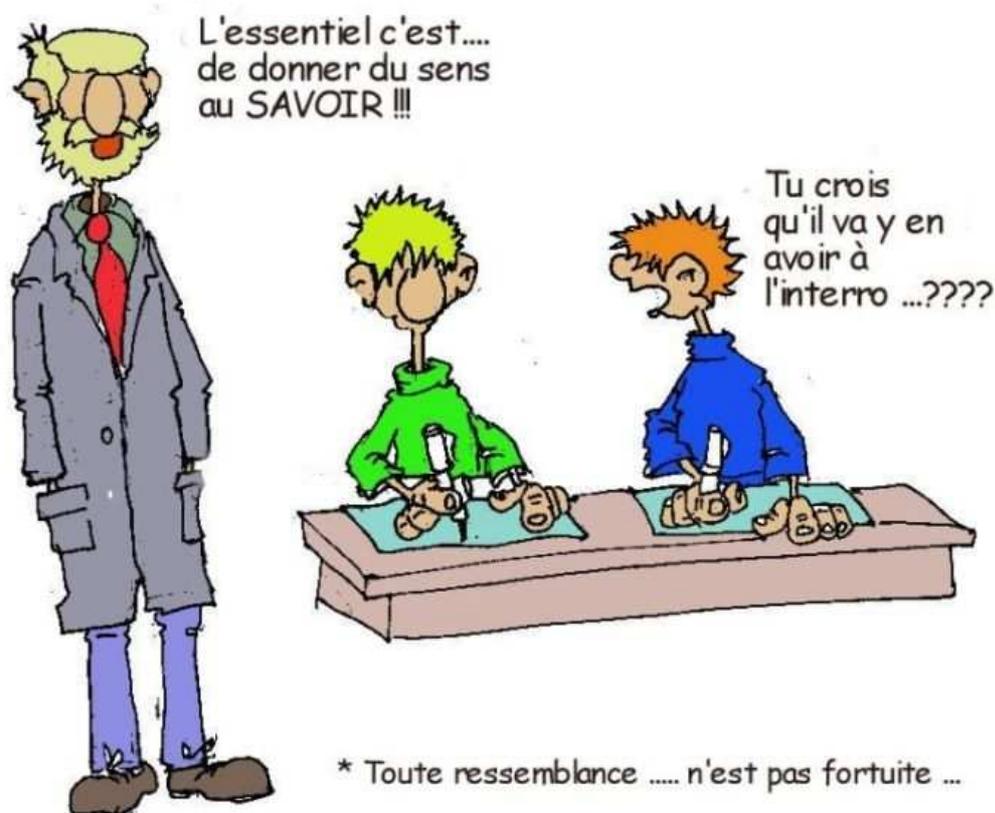
En effet, on observe que pratiquement toutes les innovations pédagogiques qui, par prudence, n'envisagent d'effectuer que des changements limités sur le fond des mécanismes cognitifs mis en jeu, notamment au niveau de la dévolution d'une responsabilité intellectuelle aux élèves/étudiants, ne parviennent pour ainsi dire jamais à trouver une stabilité dans la durée : inexorablement après quelques mois, voire quelques années de changement pédagogique très volontariste et soutenu par l'enthousiasme du changement, les innovateurs eux-mêmes abandonnent et reviennent (parfois très déçus et amers) à la position de départ dont ils avaient néanmoins cherché à s'éloigner (en innovant) après l'avoir fortement critiquée.

En définitive, nous pouvons dire que notre évolution globale au cours de ces trente dernières années a été la suivante : en cherchant à mieux comprendre ce qui permet à ce principe du « débat scientifique » de fonctionner de façon pérenne dans une classe ou un amphi, nous avons pu à la fois

- *mieux comprendre en quoi ce changement de paradigme didactique est d'une efficacité redoutable quand « il marche », et dans ce cas à quel point c'est absolument « génial » pour un professeur de pouvoir aborder ainsi des savoirs complexes avec les élèves d'une classe ou les étudiants d'un amphi et vice versa,*
- *mieux comprendre aussi pourquoi c'est si difficile de partager cette sorte de « trésor didactique » avec d'autres professeurs, car ce qu'il faut alors arriver à se communiquer n'est pas seulement une philosophie éducative humaniste, accompagnée de quelques techniques de communication et de quelques astuces pédagogiques, mais bien*

davantage la compréhension et la maîtrise de plusieurs paramètres d'ordre très différent qui permettent de faire fonctionner cette philosophie au quotidien d'un enseignement non extraordinaire avec des élèves/étudiants et un professeur tout à fait « ordinaires ».

- Il nous semble aujourd'hui que ce que nous devons arriver à partager au bout du compte avec nos collègues enseignants, c'est une compréhension profonde de ***l'interaction*** à organiser et à faire vivre au quotidien dans un enseignement collectif entre ***l'épistémologique, le cognitif, le psycho-affectif, le socio-culturel et l'éthique***, car c'est ***cette synergie*** qui permet de changer réellement de paradigme et de trouver un nouvel équilibre stable malgré les tensions contradictoires auxquelles tous les professeurs et tous les élèves/étudiants sont sans cesse soumis dans une institution scolaire, contradictions et tensions qu'il serait bien présomptueux de vouloir minimiser ou ignorer !



Chapitre 3 : Fondement épistémologique et cognitif de ce principe didactique

Ou encore : à quelle articulation entre l'épistémologique, le cognitif et le didactique sommes nous arrivés dans ce principe du « débat scientifique en cours » ?

Introduction

Après vous avoir donné un aperçu par des exemples de ce que peut être « un débat scientifique dans une classe ou un amphi », après avoir tenté de préciser la nature et la fonction de ces « débats en cours » tant au niveau des savoirs qu'on peut ainsi comprendre d'une autre façon, qu'au niveau de l'apprentissage d'une forme de recherche collective de la vérité par un partage structuré des idées de chacun dans le respect des convictions et de la dignité de tous, et après avoir fait un bref historique d'un côté des faits conjoncturels qui ont initié un tel changement de paradigme didactique et d'un autre côté de la rencontre avec les recherches en didactique qui nous ont fait évoluer, il nous paraît important de clore cette vue d'ensemble en fixant de façon plus précise les rôles que jouent ici les deux points d'appui essentiels de ce principe d'enseignement : l'épistémologique et le cognitif.

En d'autres termes, quels sont la nature et le rôle de l'épistémologie, par suite quel type de culture intellectuelle vise ce principe et quels sont les mécanismes cognitifs sur lesquels il s'appuie ? Quelle synergie donc entre l'épistémologique et le cognitif ?

Pour cela nous allons successivement développer trois aspects complémentaires :

- I) **L'épistémologie** ou plus précisément le type de démarche intellectuelle visée,*
- II) **Le cognitif** ou les deux logiques complémentaires d'accès au sens profond des savoirs que nous exploitons,*
- III) **Le didactique** ou les deux contrats didactiques complémentaires que nous proposons d'alterner et de mettre en synergie pour pouvoir exploiter ces différentes entrées cognitives, pour initier la classe ou l'amphi à une démarche intellectuelle authentique qui permette au plus grand nombre possible d'avoir accès à un sens compatible avec l'épistémologie des savoirs que nous visons.*

I) L'épistémologie ou quelles démarches intellectuelles viser ?

(Quelles épistémologies, quelles démarches intellectuelles sont-elles souhaitées ou au contraire considérées comme insuffisantes, voire inacceptables dans une certaine éthique démocratique et humaniste ?)

Quelle épistémologie souhaitons-nous partager ?

De façon lapidaire, disons que l'épistémologie que nous souhaitons partager chaque jour davantage avec nos élèves/étudiants en adoptant le principe du « débat scientifique » en cours peut se résumer de la façon suivante : les savoirs que l'on s'approprie à l'école sont principalement des outils de lecture et de compréhension du monde.

Il s'agit donc d'arriver à ce que dans une classe ou un amphi, professeur et élèves/étudiants parviennent communément à regarder les savoirs essentiels d'un programme d'enseignement non comme la succession des thèmes qui devront être abordés et traités en ouvrant et fermant des chapitres avec comme finalité première les évaluations, mais d'abord comme des réponses élaborées à de vraies questions, i.e. des questions qui deviennent progressivement celles de chacun des participants (et non du professeur seul et de quelques rares élèves) et qui, même lorsqu'elles sont d'apparence simples, deviennent elles aussi assez élaborées dans la signification profonde que chacun finit par leur donner.

Pour l'élève/étudiant comme pour le professeur, la richesse d'un savoir, sa portée épistémologique doit donc résulter non pas d'abord de sa probabilité de présence aux examens et concours, mais principalement de la synergie que ce sujet épistémique arrive à établir entre la qualité du jeu des questions qui créent pour lui le besoin de ce savoir et la qualité du jeu correspondant des réponses que ce savoir lui apporte.

Dans cette perspective, ces savoirs qu'on enseigne à l'école ne doivent pas pouvoir être reçus par l'élève/étudiant comme des vérités révélées/dictées par un maître, mais plutôt comme des constructions intellectuelles effectuées en commun, en donnant à ces constructions la double fonction de « savoir poser des questions pertinentes » et de « savoir le plus possible leur apporter des réponses fiables ».

Chaque nouvelle étude aura ainsi pour fonction prioritaire de permettre à chacun des participants d'accéder à une vérité plus étayée, à une plus grande pertinence, à une certaine forme d'universalité dans son appréhension des faits, dans son jugement sur les situations du monde que l'étude embrasse.

Quelle démarche intellectuelle visée au travers du principe du débat scientifique ?

Pour permettre à tout citoyen de mieux accéder au type de lecture scientifique du monde que nous venons de préciser, pour l'aider à effectuer une mise à distance vis-à-vis d'une perception trop immédiate et d'une vision un peu trop simpliste de « la réalité », pour pousser

chacun à revisiter les préjugés dont il a hérité en grande partie à son insu, tout professeur peut, nous le pensons, en s'inspirant de l'idéal démocratique et laïque des Lumières se donner pour objectif prioritaire d'instruire ce sujet épistémique élève/étudiant qu'il a comme interlocuteur en classe ou en amphi de telle façon qu'il l'éduque à adopter un certain type de comportement intellectuel que nous allons nommer « démarche intellectuelle authentique ».

Nous allons préciser dans les paragraphes suivants ce que nous mettons derrière le vocable « démarche intellectuelle authentique », mais disons tout de suite que pour être de cet ordre les constructions intellectuelles qui s'effectuent en cours doivent toujours préciser de façon très explicite sur quoi elles se fondent : quelles observations (que l'on peut vérifier/reproduire), quels postulats, principes et raisonnement (qui peuvent se partager rationnellement) sont les bases de l'édifice que l'on est en train de construire ?

Nous ne sommes pas en train de dire qu'en cours tout doive être « démontré », mais plutôt que ce qui est admis doit être explicitement reconnu comme tel et que les moyens que l'on prévoit de mettre au service du sujet épistémique élève/étudiant pour qu'il construise un sens adéquat à ces différents résultats tiennent compte de cette différence de statut : en clair on distingue très fortement « ce que l'on va convenir d'admettre et d'expliquer seulement par la fonction qu'on lui donne » et « ce qu'on cherche à établir proprement en se donnant les moyens de comprendre plus en profondeur sur quoi on se fonde, ce que l'on fait et... ce que l'on ne fait pas pour obtenir ce résultat » !

Démarches intellectuelles authentiques et démarches intellectuelles scolaires

Nous allons donc tenter de préciser au paragraphe suivant ce que nous appelons « démarches intellectuelles authentiques » en confiant à ces démarches le soin de permettre aux élèves/étudiants qui les adoptent d'accéder à une épistémologie des savoirs conforme à celle que nous venons de décrire ; cela devrait nous aider dans la suite à mieux distinguer les démarches intellectuelles que nous cherchons à instituer par une pratique régulière du « débat scientifique » en cours, d'autres démarches intellectuelles en vigueur à l'école et qui finissent par instituer au fil des heures de travail de l'élève/étudiant et du professeur des épistémologies scolaires prioritairement au service du fonctionnement propre des actions d'enseigner et d'apprendre dans l'institution école, épistémologies scolaires qui s'avèrent en pratique souvent peu compatibles, voire par moments diamétralement opposées à l'épistémologie des savoirs scientifiques que nous venons de décrire comme l'objectif à atteindre.

En fait, quand on regarde les démarches intellectuelles en vigueur à l'école, on ne peut pas dire qu'elles soient franchement contradictoires avec la démarche intellectuelle authentique que nous allons décrire, mais plutôt qu'elles représentent une réduction de cette démarche.

Que les démarches intellectuelles en vigueur à l'école soient d'une certaine façon une réduction de ce qui se pratique dans les communautés savantes est assez normal surtout dans les premières années d'étude, mais ce qui, à notre avis, pose problème c'est que la réduction qui s'opère tacitement et collectivement à l'école est le plus souvent très déséquilibrée et a tendance à ne garder, parmi les quatre étapes essentielles de cette démarche, qu'une seule étape, celle de l'établissement des résultats et de leur mise en application immédiate, au détriment des autres étapes d'une démarche intellectuelle authentique qui donnent sens, pertinence et réelle utilité pour le citoyen à ces résultats et c'est, nous semble-t-il, ce déséquilibre qui engendre, en grande partie à l'insu et au corps défendant des professeurs, un

retournement épistémologique par moments assez effrayant de ce qui se comprend et/ou se pratique en classe ou en amphi.

Par exemple, quand un professeur ré-introduit en classe de quatrième le parallélogramme comme un quadrilatère dont les côtés opposés sont à la fois égaux et parallèles et dont les diagonales se coupent en leur milieu, il n'enseigne pas quelque chose de faux, mais quand il demande à ses élèves de retenir cet amalgame de « définition-propriété », il pense certainement leur faire gagner beaucoup de temps en opérant ce raccourci qui donne d'un coup presque toutes les propriétés remarquables de cette figure.

Sur le plan de la récitation scolaire, ce professeur pense probablement avoir fait une bonne économie puisqu'en *un seul énoncé est dit tout ce qu'il faut retenir*, mais en opérant ainsi, ce professeur réalise-t-il que sur un plan épistémologique, en amalgamant définition et propriétés caractéristiques, on ne peut plus rien montrer avec ce « parallélogramme fourre-tout » ? Comprend-il qu'avec un tel raccourci, il livre à ses élèves un objet de savoir dangereux dont ils ne pourront rien faire d'autre que des cercles vicieux dans les démonstrations (cercles qu'il leur reprochera éventuellement après coup !!) ?

On voit bien alors que si dans une classe, de tels raccourcis épistémologiques se multiplient parce que le programme est chargé et la classe faible, et qu'on ne veut ni perdre de temps, ni perdre d'élèves à distinguer définitions d'une part et propriétés caractéristiques de l'autre, c'est au bout du compte la compréhension de ce que cette discipline apporte d'essentiel en terme d'éclairage sur le monde qui est mise en grand danger : en se référant à ce qu'ils ont compris de cette discipline à l'école, ces citoyens vont lui faire dire savamment toute une série de contre-vérités auxquelles une certaine culture scolaire devait en principe barrer la route (l'utilisation des mathématiques au travers des pourcentages et des statistiques est un exemple édifiant de cette caricature d'usage de la science !).

Pour étayer cette thèse, nous donnerons dans la seconde partie huit exemples de situations d'enseignement que nous considérons comme paradigmatiques de ce détournement épistémologique, situations dans lesquelles des élèves, des étudiants même de très haut niveau, voire des professeurs adoptent spontanément des démarches intellectuelles qui nous apparaissent comme assez effrayantes dans leur répétition à l'identique année après année, et qui semblent tout droit héritées de leur passage à l'école ; démarches intellectuelles que ces sujets épistémiques ont donc probablement pratiquées à l'école des années durant sans jamais avoir eu l'occasion de les mettre suffisamment à distance pour les critiquer, ce qui les conduit à adopter dans des situations non standard des comportements épistémologiques totalement inacceptables au regard du point de vue que nous venons de préciser.

Nous avons choisi de vous présenter dans la deuxième partie ces différents témoignages alarmants car chacun d'eux pointe à sa façon tel ou tel aspect particulier d'une démarche intellectuelle qui semble être insuffisamment prise en compte dans la grande majorité des enseignements traditionnels ; ils indiquent donc en creux ce qu'il va falloir prendre en charge dans les différents débats scientifiques que nous organisons si nous souhaitons aider nos élèves/étudiants à se constituer des épistémologies conformes à celle que nous visons.

Il nous paraît donc utile de faire ici au préalable et/ou en parallèle à l'étude de ces témoignages la synthèse des traits caractéristiques des démarches intellectuelles que l'on « doit » à notre avis, et en tout cas, que l'on peut pratiquer avec les vrais élèves d'une classe ou les vrais étudiants lorsqu'on les invite à assumer une effective responsabilité intellectuelle dans la co-construction des concepts et des théories d'un programme.

Cela devrait nous permettre de mieux préciser ce que nous « devons avoir en arrière-plan à l'esprit » quand nous ouvrons un débat scientifique avec les élèves d'une classe ou les étudiants d'un amphi sur tel ou tel point particulier du programme, pour que ce débat contribue à la construction d'épistémologies ad hoc : ***quelles sont les différentes démarches intellectuelles qui sont à la fois « très peu spontanées » (i.e. très peu dictées par les habitudes extra-scolaires pas plus qu'elles ne le sont non plus par le contrat didactique réduit au minimum « je leur montre ce qu'ils devront savoir refaire / j'apprends ce qu'on m'a montré pour savoir le refaire au moment désigné »), démarches néanmoins très importantes à transmettre à tous car indispensables à la construction du type d'épistémologie des savoirs que nous visons ?***

Par « démarche intellectuelle authentique » nous désignons la synthèse des principales démarches intellectuelles adoptées dans la communauté savante (donc qui ne se réduisent pas à la simple mise en application des résultats du cours) que nos interlocuteurs élèves/étudiants peuvent néanmoins progressivement faire leurs, considérer comme « allant de soi », à partir du moment où ils sont régulièrement invités à co-construire les concepts et les théories d'un programme et à le faire en assumant une effective responsabilité intellectuelle.

1) Qu'appelons-nous « initiation à une démarche intellectuelle authentique » ?

Pour faire très court, disons que le sens des démarches intellectuelles que nous souhaitons transmettre à nos élèves/étudiants en leur enseignant des savoirs théoriques doit, il nous semble pour le moins, les amener peu à peu à ressentir la nécessité absolue d'adopter une attitude « méta » quand ils étudient un savoir nouveau ou revisitent un savoir plus ancien pour l'approfondir.

Dans cette affaire nous partons du postulat intellectuel suivant : « ***Tout humain souhaite naturellement connaître et comprendre le monde qui l'entoure et a de ce fait un besoin existentiel de donner sens aux situations qu'il rencontre, ou qu'on lui fait rencontrer !*** »

Par suite nous postulons que tout élève/étudiant (fort ou faible) donne spontanément, dans un réflexe cérébral pas forcément très contrôlé, une signification à tout ce qu'on lui montre à l'école ³⁰.

Le problème didactique c'est que contrairement à ce que sous-entendent les expressions couramment utilisées à l'école : « réfléchir un minimum », « faire preuve d'un peu de bon sens », ***on ne donne pas facilement un sens pertinent et non contradictoire aux abstractions très élaborées*** et complexes que représentent les savoirs essentiels d'un programme !

30 L'élève donne une signification même quand il rejette totalement ce qu'on veut lui expliquer, en déclarant ne rien comprendre ; en fait, s'il proteste, ce sujet épistémique donne encore un sens à ce qu'on veut lui montrer, celui « d'être absurde ou totalement inutile ou réservé à des gens très spéciaux dont il ne fait pas partie ». Ce faisant, il prend une certaine distance par rapport à la présentation de ce savoir et adopte une attitude « méta » qui est momentanément négative car elle le bloque, lui interdit de comprendre et d'apprendre un minimum, mais cette attitude « méta » qui le met mal à l'aise par rapport à ce savoir peut aussi lui permettre d'évoluer si un fait exceptionnel l'oblige à réviser son jugement (nous pensons qu'il a plus de chances d'évoluer positivement s'il se révolte contre l'absurdité ressentie que s'il reste très passif en pensant comprendre ce qui en réalité lui échappe sur le fond).

Le plus souvent ce « sens adéquat » des savoirs complexes ne se livre pas spontanément, n'est pas une simple affaire de « bon sens » : ***comprendre véritablement ce qui est tant soit peu complexe et profond nécessite presque toujours un détour par une construction intellectuelle*** qui, lorsqu'elle est poussée assez loin pour être cohérente et partageable avec autrui, devient une « théorie ».

Faire accéder nos élèves/étudiants au sens profond des savoirs en adoptant une démarche intellectuelle authentique c'est donc, à notre avis, les amener d'abord à accepter ***d'adopter cette position « méta » de principe*** qui pousse le sujet épistémique élève/étudiant à « ***faire un pas de côté*** » par rapport à tout ce qu'on lui montre et qui lui semble quasi « évident » (ne pas se dire « qu'il n'y a rien à comprendre ! ») ***et simultanément à ne pas se considérer comme « à côté » du ou des problème(s) à investiguer et à résoudre*** (ne pas considérer a priori que ce qui est à comprendre vous dépasse !)

En d'autres termes, ce sujet épistémique (qui accepte d'adopter une position méta)

– sait d'un côté que ***les situations même d'apparence assez simple qu'on lui propose d'étudier sont souvent beaucoup plus complexes*** qu'elles ne paraissent à première vue (ce qui l'aide à accepter les méandres de la compréhension et de la théorisation) ;

– sait d'un autre côté aussi que ***découvrir au moins en partie par lui-même*** ce qui peut advenir dans ces situations complexes, non seulement ***ne lui est pas totalement étranger/inaccessible, mais de plus, est assez indispensable*** pour lui permettre de comprendre véritablement ce que d'autres ont pensé, trouvé, conçu avant lui : « *malgré la complexité réelle de la situation introduite par le professeur, « on » (mes pairs et moi-même) sait qu'on peut souvent avoir des intuitions personnelles tout à fait pertinentes !* » (ce qui amène cet élève/étudiant à ***accepter d'avoir une responsabilité intellectuelle propre*** dans le fait de comprendre ou de ne pas comprendre).

A partir donc de cette prise de distance de principe par rapport à un désir de simplicité, d'immédiateté, par rapport à l'attitude d'irresponsabilité intellectuelle qu'on adopte tous assez naturellement quand on est face à un maître qui sait tout ce qu'on ignore, attitude propre à l'école mais aussi bien entretenue par la culture extérieure à l'école (avoir tout et tout de suite, trouver en un clic sur le net des réponses simples, toutes faites, définitives et immédiates à toute question qu'on se pose), il s'agit d'amener peu à peu nos interlocuteurs à accepter le coût incompressible – non réductible à l'appropriation d'une technique et a fortiori d'une nouvelle technologie – de la compréhension : pour connaître véritablement ce qui est profond, il faut le plus souvent s'engager de façon active dans une démarche intellectuelle longue et erratique de construction collective de concepts et de théories ; ce n'est qu'au prix de ce détour théorique qu'on arrive à terme à des explicitations cohérentes et partageables, qu'on parvient à comprendre le pourquoi des régularités que l'on observe, à déterminer leur caractère universel ou non, ***ce n'est qu'après discussion avec autrui que l'on arrive à se poser enfin les bonnes questions qui donnent sens aux réponses que les savoirs apportent.***

Une théorie doit donc progressivement apparaître aux élèves/étudiants non comme un objet externe et peu compréhensible dans lequel seules compteraient les applications scolaires, mais au contraire comme un bien précieux qui aide d'autant plus à comprendre le monde qu'on le voit comme ***une construction partageable avec autrui, qui répond à des questions et suit des intentions*** : une construction de l'esprit humain qui d'un côté se

veut la plus fidèle possible, la moins contradictoire possible avec ce que l'on observe et constate à première vue, mais d'un autre côté une construction qui ne se réduit pas à être une énonciation de vérités constatées ou révélées.

Une théorie doit donc pouvoir devenir pour eux une **construction intellectuelle qui met en avant des hypothèses de départ, des principes et des règles de fonctionnement**, lesquels vont à terme permettre à chacun de ceux qui s'y réfèrent d'anticiper sur ce qui ne se voit pas simplement ou ne peut se voir directement, qui vont aider à prendre des initiatives plus pertinentes et à pouvoir les **soutenir comme des thèses qu'un autrui initié et sincère pourra discuter et auxquelles il pourra adhérer par compréhension des raisons qui soutiennent les conclusions.**

A notre sens, l'élève/l'étudiant **est en capacité d'accéder au sens profond des concepts que nous lui proposons** dans nos diverses disciplines s'il adopte de plus en plus souvent cette attitude méta qui l'aide à se détacher de l'emprise du **contrat didactique le plus rudimentaire de l'école qui l'incite (en particulier par le biais des interrogations, des notes et des places) à voir d'abord les concepts et théories qu'on lui enseigne comme ce qu'il lui suffit d'apprendre assez formellement, voire mécaniquement**, pour pouvoir le réciter de façon canonique le jour où on l'interrogera.

Un des rôles du « débat scientifique » est, comme nous l'avons plusieurs fois souligné, de rééquilibrer cette vision à finalité purement scolaire du savoir de façon à ce que concepts et théories deviennent de plus en plus pour les protagonistes de ces « débats » ces moyens détournés dont les hommes se dotent dans l'espoir qu'à partir des mêmes principes et des mêmes constats, différents humains qui adoptent une même démarche intellectuelle arrivent à terme, s'ils sont de bonne foi, à s'accorder au moins en partie sur la signification à attribuer aux résultats qu'ils obtiennent séparément.

Et, à défaut d'un accord sur les conclusions, ils arrivent néanmoins de par leurs habitudes intellectuelles à comprendre quels principes différents, quels autres postulats de départ distincts de ceux initialement mis en avant³¹, font qu'ils ne peuvent plus à un certain moment s'accorder pour donner la même signification aux « mêmes faits », pour leur proposer un même devenir.

Il nous semble donc que **la culture commune dont les citoyens devraient pouvoir hériter par leur passage à l'école** et par leur rencontre avec les diverses disciplines qui y sont enseignées, c'est cette sorte de **nécessité d'adopter une attitude « méta » de prise de distance par rapport aux faits bruts et aux évidences immédiates.**

Par ce comportement « méta » l'élève/l'étudiant qui a fait un pas de côté par rapport à sa situation d'apprenant ne se laisse pas mener de façon aveugle par un professeur tout puissant qui pourrait tout lui faire comprendre grâce à ses bonnes explications de maître sans qu'il ait de son côté à assumer en propre la conscience de ce qu'il comprend et de ce qu'il ne comprend pas (ou de façon peu satisfaisante en tant que sujet épistémique).

31 C'est, par exemple, ce que nous tentons de faire tout au long de l'écriture de ce livre et surtout dans la troisième partie : nous essayons de comprendre pour quelles raisons importantes, en raison de quels principes cachés il est bien normal (il n'est pas totalement surprenant) qu'un grand nombre de professeurs qui partagent nos idéaux humanistes et démocratiques et qui ont aussi des élèves/étudiants semblables à ceux que nous rencontrons, qui sont donc régulièrement mis en face des mêmes faits didactiques que ceux que nous dénonçons ici, ne perçoivent néanmoins pas du tout comme nous les problèmes de non sens et de contresens profond que nous mettons en avant, n'ont pas du tout envie de les traiter de la même façon !

Ce sujet épistémique ose donc régulièrement s'interroger :

- **sur un plan épistémologique** : Où en sommes-nous ? Qu'a-t-on établi ? Qu'est-ce qui fait obstacle ? Que reste-t-il à faire pour ... ? La méthode utilisée a-t-elle des chances d'aboutir ?

- **sur un plan didactique** : Qu'est-ce que je comprends au juste ? Jusqu'à quel endroit j'arrive à suivre le raisonnement du professeur ? Qu'est-ce qui est par contre très obscur, voire insignifiant ou contradictoire avec ce que je pense ou ce qui me semble avoir été dit auparavant ?....

Pour associer le plus grand nombre possible de nos élèves/étudiants à cette attitude « méta » qui devient - nous l'avons souvent constaté - assez naturelle chez ceux qui s'impliquent effectivement dans de vrais « débats scientifiques », il nous semble utile ici (pour ne pas trop rester dans une vague déclaration d'intention) de préciser un peu plus dans le paragraphe suivant ce que nous mettrons derrière l'expression « parcourir les étapes fondamentales d'une démarche intellectuelle authentique ! »

2) Les quatre étapes constitutives d'une démarche intellectuelle authentique.

Ou : les différentes étapes qu'il nous faut absolument arriver à parcourir dans leur complémentarité avec nos élèves/étudiants en terme de démarche de pensée pour qu'ils puissent comprendre véritablement.

Avertissement

Bien évidemment tout professeur connaît ce que nous allons énoncer autour de ces quatre étapes ; le rôle de ce rappel est uniquement de synthétiser ce que nous visons au juste quand nous portons des jugements globaux du type « *ici ces élèves/étudiants semblent adopter une démarche intellectuelle authentique* » ou au contraire « *là, par contre, ils en semblent très éloignés !* ».

Cette synthèse devrait, nous l'espérons, nous aider à minimiser le malentendu potentiel qui pourrait s'installer entre nous quand pour analyser le système d'enseignement et tenter de l'infléchir, nous portons de tels jugements généraux (qui de fait n'ont pas grande utilité théorique ou pratique si on ne voit pas bien ce qu'ils visent de façon assez précise).

Cela pourra, par exemple, nous aider à avoir des critères communs lorsque nous étudierons dans la deuxième partie les situations paradigmatiques de classe ou d'amphi que nous déclarons « alarmantes » ; ces critères devraient alors nous permettre de convenir sans trop de difficulté « *ici cette classe/cet amphi semble disposer des pratiques intellectuelles ad hoc pour une étude en compréhension de tel ou tel savoir complexe* » ou au contraire « *les comportements dominants de cette classe ou de cet amphi laissent à penser que tant qu'une majorité d'élèves/étudiants garderont ce type de pratiques intellectuelles, ils auront très peu de chances de pouvoir s'appropriier le sens profond des concepts et théories mis à l'étude de ce programme !* ».

Description sommaire des quatre étapes d'une démarche intellectuelle authentique dans une classe ou un amphi

Pour que les enseignements que nous prodiguons à nos élèves/étudiants dans nos diverses disciplines leur permettent d'hériter de la culture que représente l'ensemble des savoirs qui sont mis au programme, il nous semble indispensable que les différentes démarches

intellectuelles auxquelles nous les convions se présentent **toujours** (en tout cas presque toujours en sciences) **comme une sorte de va-et-vient volontaire et permanent, une mise en synergie consciente** (de la part de l'élève/étudiant comme du professeur) entre quatre étapes/démarches.

1) **La première étape d'entrée dans une problématique** part souvent de l'observation et du constat d'un fait particulièrement marquant et/ou de régularités.

Dans une classe ou un amphi cette phase d'observation-découverte se fait presque toujours sur un cas particulier dans un univers de vie semi-naturel, semi-adapté aux exigences du contrat didactique où l'élève sait bien que le réel évoqué qui sert de trame à l'histoire n'est pas tout à fait réel, il sait qu'il est « didactifié » pour le faire réfléchir à une généralisation possible, mais ce faux-semblant de l'école n'est pas, nous le pensons, un problème en soi si ce « semi-réel » fait spontanément sens et que le contrat est « qu'est-ce que je pense honnêtement de cette situation particulière et de son éventuelle généralisation ? » et non « qu'est-ce que le professeur voudrait que je pense face à cette situation ? »

L'intérêt de ce point de départ souvent assez concret est qu'il permet à tous de se sentir concerné par la généralisation dans la mesure où chacun peut se questionner de façon assez naïve : « Pourquoi ce fait singulier dont la signification propre ne pose de problème à personne, pose par contre un vrai problème dès qu'on le conçoit comme susceptible de se reproduire : est-ce seulement conjoncturel ou au contraire le fruit de certaines nécessités ? ».

L'étude de ces situations initiales assez simples et concrètes est donc très intéressante et utile si précisément dès le départ elles sont conçues comme un prélude à la généralisation, une entrée dans la problématique de la théorie visée et si de ce fait on peut y revenir tout au long de l'étude pour voir dans quelle mesure la généralisation que représente la théorie élaborée dans un deuxième temps, correspond ou non à ce qu'on avait initialement vu et compris : en quoi la théorie va-t-elle plus et moins loin que la situation de départ ?

(Par exemple : après avoir fait des mesures d'angles et de côtés sur différents triangles, la question peut devenir « que devient la somme des angles du triangle et que devient la somme de ses côtés quand il grandit ? »)

2) La seconde étape consiste à comprendre dans quelle mesure on est dans l'obligation de créer un modèle pour pouvoir généraliser.

Dès qu'on aborde sérieusement le problème de la généralisation de ce qu'on a observé/constaté dans des situations très particulières (que l'on pourrait appeler le « réel de départ »), on tombe très vite sur une difficulté qu'on n'avait pas de raisons de soupçonner à première vue : comment formuler ou reformuler les questions et les réponses initiales qui « se déclinaient sans poser le moindre problème » quand le contexte particulier précisait spontanément tout ce qui n'avait pas besoin d'être explicitement dit ?

Dès qu'on effectue ce travail en groupe, on se rend vite compte en débattant autour de ce que chacun a tenté de généraliser naïvement, que l'on a du mal à se mettre d'accord : *De quoi parle-t-on au juste ? Qu'affirme-t-on de général ? Sur quoi se basent nos explications rationnelles pour justifier ce qu'on avance ?*

Apparaît assez vite alors la nécessité d'introduire une « seconde réalité » que l'on va nommer « le modèle » : puisque dans la première étape sont apparues certaines régularités, donc une confrontation entre « *ce qui est le même sans être totalement identique* », et « *ce qui peut être différent sans être pour autant totalement étranger* », puisqu'on est à la recherche d'une certaine **nécessité qui engendrerait la répétition de « la même chose »**, on se rend compte qu'on tourne vite en rond si, lorsqu'on cherche à généraliser, on reste néanmoins au stade de l'appréhension naïve immédiate de la situation concrète de départ.

Dans l'action de cette seconde étape (que le professeur peut initialiser en classe ou en amphi en demandant à chacun de se faire une opinion personnelle dans le but de proposer des généralisations sous forme de thèses/conjectures), ***la communauté classe ou amphi découvre donc très vite qu'un débat contradictoire sur la vérité ou la pertinence d'une thèse ramène très souvent le groupe à un problème de définition*** : le même énoncé conjectural ne traduisant pas du tout la même réalité en terme de résultat suivant la définition que les uns ou les autres donnent spontanément à certains objets de pensée mis en jeu dans la thèse/conjecture, ***il devient vite assez évident aux yeux de tous qu'il va falloir impérativement commencer par établir une définition commune des objets de pensée litigieux si on veut résoudre ensuite la conjecture initiale*** (i.e. trouver par la raison un commun accord à propos du statut de cette conjecture).

Au delà de l'obligation de préciser les objets élémentaires dont on parle, apparaît dans cette seconde étape de construction d'un modèle la ***nécessité de choisir les règles et principes sur lesquels on va pouvoir s'appuyer pour inférer, justifier et enfin prouver des faits et des résultats que l'on ne peut que constater dans la réalité ou tenir pour vrais par intuition ou forte présomption***.

Dans cette seconde étape (à notre sens la plus cruciale en terme d'initiation à une démarche intellectuelle authentique, la plus fondamentale dans l'initiation du citoyen à la prise de décision démocratique), le sujet épistémique découvre la nécessité d'un certain nombre d'actions essentielles pour tenter d'établir des vérités communes, des vérités donc à caractère universel (nécessité d'actions complexes que l'homme du commun a trop facilement tendance à considérer comme des embrouillages de situations, des fadaïses d'intellectuels dénués de bon sens et de tout sens pratique).

Quand l'élève/l'étudiant participe activement à cette modélisation, il découvre peu à peu :

- la nécessité de transformer en « réalités d'idées » certaines « réalités immédiates issues du monde sensible », réalités immédiates dont on a toujours du mal à s'extraire puisque dans un contexte précis il est aisé d'effectuer des constats et de se poser des questions qui font immédiatement sens et auxquelles il est souvent facile d'apporter des réponses simples qui apparaissent à tous comme des évidences (dans ce contexte il n'y a donc rien à démontrer, puisque démontrer c'est ramener à une suite d'évidences !)
- ***que la faiblesse des évidences immédiates*** (auxquelles on tient, vu leur simplicité) ***est qu'elles sont le plus souvent tellement dictées par le contexte qu'elles deviennent indiscutables car incontestables*** pour celui qui les propose en généralisant abusivement sans apercevoir la complexité de la généralisation qu'il effectue (ces généralisations sont

indiscutables/incontestables tant que leur auteur ne peut envisager de les présenter à autrui comme des thèses).

- **que celui qui renâcle à modéliser** (« ça ne sert à rien d'enfoncer des portes ouvertes ! c'est évident ! ») **ne parvient pas non plus à penser ses généralisations comme des thèses** dans la mesure où restant dans un contexte personnel dont il ne s'oblige pas vraiment à prendre conscience (n'étant pas dans une position « méta » par rapport à ce qu'il avance), il est le plus souvent dans l'incapacité totale de donner des raisons rationnelles pour autrui, pas plus que d'envisager une alternative raisonnable/crédible à la conclusion péremptoire à laquelle il arrive : « c'est comme ça ! chacun peut le constater... ! » « c'est !! », « ça ne se discute pas et ceux qui soutiennent le contraire disent n'importe quoi !..... »
- que ces sortes d'évidences qu'on constate seulement sans vouloir les faire apparaître comme des thèses dans un modèle précis, il est quasiment impossible de les partager par la raison : on ne les partage qu'en les imposant ou avec des complices ³² .

C'est donc, à notre avis, lorsqu'il découvre dans sa participation à l'action collective de généralisation, la nécessité de cette transformation du « réel » en « modèles » afin d'arriver à terme à mieux comprendre « la réalité » et à se comprendre collectivement, que l'élève/l'étudiant s'initie le mieux à adopter l'attitude « méta » dont nous avons parlé précédemment comme étant le fondement d'une démarche intellectuelle authentique.

En effet, en participant à la modélisation (et non en recevant une modélisation toute faite à son insu) **le sujet épistémique élève/étudiant**

- **prend alors conscience de l'importance d'un double mouvement de mise à distance du « réel »**, un mouvement de simplification et simultanément de complexification du réel initial (réel initial qui avait spontanément sens, mais... malheureusement un sens très pauvre au niveau épistémologique puisqu'il ne permettait pas d'envisager a priori tout ce qu'il allait falloir construire pour pouvoir le généraliser) :

- - d'un côté, ce sujet épistémique se rend compte qu'il doit beaucoup simplifier le réel initial pour en comprendre l'essentiel (il réalise qu'on ne peut plus continuer à vouloir tout prendre en compte si on ambitionne d'arriver à penser ce qui semble le plus important) ; en modélisant explicitement il prend donc conscience qu'en théorisant on effectue une réduction volontaire du réel et qu'on se doit de la décrire explicitement.
- - et d'un autre côté, ce sujet épistémique réalise qu'il doit aussi accepter de beaucoup complexifier la réalité de départ pour pouvoir continuer à parler sans ambiguïté de ce qui se désignait simplement au départ, afin de pouvoir ainsi faire apparaître les nécessités, en dégager les raisons, en donner des preuves intellectuelles.

³² Raison pour laquelle il nous semble que la plupart des discussions pédagogiques qui excluent toute référence à des théories didactiques tournent très vite en rond ou en pugilat et sont donc à la longue considérées comme stériles par un grand nombre de professeurs !

- *change donc consciemment et volontairement de domaine de réalité* : il passe d'une réalité où les objets et les principes n'ont pas à être définis puisque leur signification est en grande partie (sur)déterminée par des pratiques usuelles, un contexte, des sensations **kinesthésiques**, etc., pour aborder une réalité d'idées où les objets et **les principes doivent impérativement être définis et déclarés comme tels pour exister et où par suite leurs significations ne vont pas de soi**, ne sont plus déterminées par des habitudes et un contexte, **mais principalement par l'intention qu'on a eue, en les construisant, d'en faire des outils fiables** (universels en un sens) pour prendre en compte ce qu'on a cru observer de remarquable ou de pérenne mais aussi d'inexplicable dans une réalité initialement trop contextualisée.

L'exemple le plus frappant de ce changement de réalité (le plus violent pour beaucoup d'élèves quand ils ne sont pas explicitement associés à la construction du modèle) est celui du **passage d'une géométrie du dessin** où un « bon » triangle isocèle est un triangle suffisamment bien dessiné pour que la mesure fine de deux de ses côtés se révèle identique, à une **géométrie de la figure, de la preuve et de la démonstration mathématiques** dans lesquelles **le nouveau « bon » triangle isocèle n'est plus celui que l'on montre, mesure ou « voit isocèle », mais celui sur lequel on fait des déclarations** : le triangle que l'on dessine alors pour le représenter (pour garder une intuition géométrique) est éventuellement très peu isocèle au niveau de son aspect visuel, **mais c'est par contre un triangle codé isocèle**.

On demande alors à l'élève de quatrième de ne plus percevoir l'égalité de deux côtés comme ce qui se voit avec les yeux ou se mesure avec un instrument précis, mais comme ce qui est affecté d'un même symbole qui aura été apposé sur deux segments au moment où l'on précise les hypothèses de l'étude ou bien en conséquence de ce qui a été déclaré vrai en cours d'étude.

Quand on enseigne à ces niveaux, on peut facilement observer que ce changement de réalité, qui n'est pas compris comme tel par beaucoup d'élèves (en grande partie ceux issus de milieux socio-culturels où de tels changements de réalité ne correspondent pas du tout aux pratiques familiales les plus courantes) marque la fin de leur éventuel intérêt et de leur réussite dans cette discipline : **ne voyant pas l'intention de ce changement brutal de prise en compte de ce qui est pertinent et vrai, certains élèves secrètent alors en s'initiant à cette géométrie déductive une sorte de détestation pour la nouvelle pratique intellectuelle que ce changement de réalité avait vocation à rendre possible et féconde : la démonstration**.

3) Une troisième étape, celle de la recherche de preuve intellectuelle consiste à tenter de prouver dans le modèle les régularités induites par une première intuition/expérimentation.

Cette étape est apparemment très distincte des deux premières, mais en fait très liée puisque c'est souvent lorsqu'on veut soutenir/prouver une thèse qu'on découvre qu'on a insuffisamment défini ce dont on parle et qu'il faut, de plus, absolument **poser dans le modèle les « bons axiomes, lois ou principes »** qui vont permettre d'inférer un résultat à partir d'un autre ; c'est aussi au moment où l'on effectue ces preuves qu'on

découvre l'intérêt d'avoir défini au préalable des objets de pensée assez structurés et précis pour pouvoir être traités dans la dichotomie vrai/faux et ainsi être utilisés comme prémisses ou conclusions de déductions logiques qui prouveront alors dans le modèle ce qui ne peut qu'être qu'observé comme régulier dans « le réel ».

La double conscience qui doit alors caractériser cette pratique de preuve intellectuelle est, à notre sens, la suivante :

– ***d'un côté*** avoir compris que, pour que les résultats qui s'établissent au moyen de cette preuve intellectuelle aient ***valeur de vérité universelle dans le modèle*** choisi, il faut absolument que les inférences qui permettent de passer des hypothèses aux conclusions dans cette démonstration ne reposent que sur des vérités supposées ou déjà reconnues comme universelles dans ce modèle, c'est-à-dire ***non seulement ne s'appuient pas sur la contingence de ce qu'on peut constater sur le « réel initial »*** (ça se voit sur le dessin) mais de plus (et surtout) ne s'apparentent pas de près ou de loin à des « cercles vicieux démonstratifs », i.e. des raisonnements parfois très compliqués ou en apparence très sérieux (réurrence) ou au contraire remarquablement simples et de ce fait très convaincants qui consistent (mais ça ne se voit pas toujours très facilement) à ***s'appuyer implicitement sur ce qu'on veut prouver pour le démontrer !!!***³³

La construction collective et erratique de ces preuves doit peu à peu montrer au sujet épistémique élève/étudiant que ***la force d'un tel mode de partage d'une conviction est***, contrairement à une rhétorique de persuasion « pour avoir raison », ***son honnêteté intellectuelle*** : ici pour convaincre, on va s'interdire d'exploiter les facilités d'une rhétorique où le plus délicat à montrer est souvent soigneusement enveloppé dans un certain flou, caché par une certaine habileté discursive ; ***au contraire on va mettre ici en pleine lumière les éventuelles faiblesses démonstratives de son argumentation*** en s'obligeant à expliciter suffisamment clairement ce sur quoi on s'appuie pour inférer chaque étape cruciale de l'argumentation de façon à ce que les éventuels maillons faibles ou abusifs que l'on introduirait par mégarde pour réaliser ces inférences se remarquent /se voient assez bien dès qu'on (re)fera une lecture attentive de l'ensemble de cette preuve (***si jamais c'est faux ! ...ça doit pouvoir se voir !***).

– ***de l'autre côté***, chacun doit savoir aussi que si ces preuves qui exploitent avec honnêteté toute la force de la logique fournissent par moments ***des certitudes quasi absolues dans le modèle***, c'est précisément parce qu'elles s'exercent sur des objets assez bien définis pour entrer facilement dans la dichotomie du vrai/faux. Il est alors essentiel de se souvenir que le plus souvent cette facilité de penser le monde si commode en mathématiques par exemple, ne tient que dans le modèle et pas (ou en tout cas « pas aussi catégoriquement ») dans le « réel » ! (d'où l'importance de la quatrième étape).

Une quatrième étape s'impose alors : celle de la **confrontation** en terme de pertinence des **résultats** rigoureusement établis/obtenus dans le **modèle** aux faits que l'on constate/observe dans un certain **réel plus flou** dont on était parti.

33 Tout cela paraît à nouveau évident quand on l'écrit ; nous verrons néanmoins sur des exemples de la seconde partie que, même à des niveaux très avancés, le contrat didactique peut dicter à certains élèves/étudiants, voire à des professeurs qu'il est possible, intéressant, voire « pédagogiquement utile » d'enfreindre cet interdit absolu de toute démarche intellectuelle authentique !!!

Cette confrontation des affirmations issues de la théorie aux faits initialement connus ou qui apparaîtraient lors de nouvelles mises en pratique de la théorie nous indique alors dans quelle mesure il est possible ou non, sage ou pas, de traduire les certitudes acquises dans le modèle en indications fiables sur le « réel », en forte probabilité de réalisations pratiques. (Il faut chercher à voir dans quelle mesure cette théorie, ces concepts élaborés en cours de route dans une certaine intentionnalité explicative nous aident ou non à mieux comprendre le monde qui nous entoure ou au moins certains de ses aspects, nous permettent de prendre des initiatives et décisions plus fondées, plus facilement partageables au niveau des raisons, plus fiables dans leur réalisation).

On doit d'ailleurs accepter que si, dans ce retour au « réel » (ce réel de départ pouvant très bien être lui-même un modèle : par exemple, en math. lorsqu'on linéarise des fonctions localement - différentielle - ou globalement - interpolation -) apparaissent de façon très inattendue des paradoxes et des contradictions, on détient peut-être là des indices forts que la théorie sur laquelle on s'appuie est elle-même en partie contradictoire. (On verra dans nombre de nos exemples de la deuxième partie que cette pratique intellectuelle de confrontation de la théorie à la réalité comme critère d'une éventuelle fausseté de la théorie n'est absolument pas acceptée/intériorisée par nombre d'élèves/étudiants très avancés qui ne sont pas du tout prêts, semble-t-il, à remettre en cause un raisonnement ou une théorie qu'ils croient bien maîtriser, si d'aventure elle semble avancer un résultat totalement invraisemblable quand ils l'appliquent à une réalité concrète dans laquelle un résultat très discordant au même problème peut s'obtenir simplement et avec certitude sans passer par ce raisonnement ou cette théorie !)

Bref, dans une démarche intellectuelle authentique, on s'oblige à tout moment à adopter cette attitude « méta » qui nous pousse à bien distinguer des modèles « le réel » qui s'impose à nous parce qu'il a naturellement du sens dans un certain contexte, « réel » qui nous intéresse en grande partie pour cela, mais que l'on reconnaît vite comme étant trop conjoncturel et insaisissable objectivement pour être pensé collectivement, universellement. On sépare donc ce « réel » (sans l'oublier pour autant) du ou des modèles qu'on construit progressivement **dans une certaine intention**, celle de comprendre assez profondément une partie de ce « réel » pour être capable de porter un jugement plus pertinent et de prendre des initiatives plus heureuses à son sujet.

Et cette distinction « réel - modèle » se matérialise non par un découpage strict qu'il faudrait suivre formellement, mais plutôt par un va-et-vient permanent, une synergie entretenue et consciente entre les quatre étapes que nous venons de décrire.

Dans toute cette affaire le sujet épistémique élève/étudiant sait que si à certains moments il doit mettre des œillères pour se concentrer sur un aspect particulier afin de ne pas se tromper (par exemple en faisant des calculs), il doit par contre pour comprendre réellement ce qu'il fait et construire un sens profond sur les résultats théoriques qu'il obtient à terme, reprendre régulièrement une position « méta » dans laquelle il s'interroge sur le rapport entre l'étape actuelle et les autres étapes et sur la façon dont il maîtrise ou non, à ce moment précis, sa vue d'ensemble sur la situation.

3) Question immédiate : est-ce bien raisonnable d'avoir une telle exigence épistémologique, une telle ambition dans la conduite d'un enseignement destiné au plus grand nombre ?

En clair, est-il réaliste d'ambitionner de partager une telle démarche intellectuelle dans une classe ou un amphi ordinaire ?

La thèse que nous défendons en proposant de faire régulièrement des « débats scientifiques en cours » est précisément qu'il est possible **d'entretenir par ces débats entre élèves/étudiants une conscience forte des intentions qui président à toute action théorique** et d'éviter ainsi que les objets théoriques que le professeur devra fatalement introduire de façon assez magistrale à un moment ou un autre au fur et à mesure de l'avancée du cours ne deviennent progressivement pour une majorité de ses interlocuteurs (voire par moments pour tous) des objets purement formels, sans signification autre que d'être ce qui est énoncé par le professeur et qu'il faudra savoir manipuler de façon ad hoc aux endroits convenus.

De fait, nous constatons à l'usage qu'une pratique régulière de « débats scientifiques en cours » remplit assez bien la fonction de forcer l'interaction et la synergie entre les quatre étapes d'une démarche intellectuelle authentique que nous venons de décrire, ces débats pendant le cours permettent à beaucoup d'élèves/étudiants de donner une signification personnelle aux théories qu'on leur enseigne et ce, bien qu'elles aient été initialement pensées par des professionnels qui ne sont pas eux ni parmi eux.

Le paradoxe didactique qu'on tente de dépasser par des didactiques type « débat scientifique en cours » est donc le suivant :

- *d'un côté on sait bien qu'une théorie ne peut véritablement être enseignée à l'école* que lorsque (et parce qu'elle) est **totale**ment *achevée, dé-contextualisée et débarrassée* de tous les avatars qui l'ont produite,

- mais d'un autre côté, une fois **achevée et dé-contextualisée**, une fois donc devenue « intouchable/in-modifiable », cette théorie tend à perdre **l'essentiel de ses significations** propres (en tout cas elle est souvent sans esprit et sans âme pour un apprenant qui la voit se présenter à lui comme un être mort et **sans intentionnalités**).

La reconstruction erratique de cette théorie par le débat pendant le cours tend alors à lui redonner une vie propre, une âme car elle force le groupe des élèves/étudiants à **redécouvrir une part significative des intentions des auteurs, à donner une fonction épistémologique actuelle à ces intentions** (et non une fonction seulement dans le passé, pour les découvreurs de la théorie); la théorie qui se reconstruit erratiquement en cours tend alors à être un projet que la classe ou l'amphi se dessine progressivement et cherche à réaliser, un projet qui dans certains cas, notamment quand la construction est longue (par exemple l'intégrale), finit par être désirée avec une certaine intensité par un grand nombre de participants.

Ces débats réguliers interdisent donc aux objets théoriques, axiomes, principes et définitions *que le professeur ne peut traduire dans un langage ordinaire plus intuitif (métaphores simplificatrices) sans prendre le risque de les travestir fortement, de demeurer pendant trop longtemps des objets purement formels* (tellement formels que les élèves/étudiants peuvent ensuite « leur faire dire une chose et son contraire » sans sourciller le moins du monde, comme nous le verrons dans les exemples de la seconde partie).

Quand, dans un débat, on constate que des élèves/étudiants très avancés font dire n'importe quoi à une théorie, on se rend compte qu'ils ne le font pas le plus souvent par manque de connaissances, par manque de moyens intellectuels, par manque d'attention, ***mais parce que chez eux tout est resté cloisonné chapitre par chapitre et qu'il ne leur vient pas de ce fait à l'esprit de prendre une position « méta » afin d'arriver à faire le lien qui s'impose a posteriori entre des situations très proches sur le fond bien qu'aux apparences externes assez diverses.***

Si, face à ces comportements assez aberrants d'élèves ou d'étudiants (même très avancés) on revient aux quatre étapes de ce que nous avons décrit comme caractérisant « une démarche intellectuelle authentique », on est bien obligé de reconnaître que si dans l'école actuelle les élèves et parfois aussi les étudiants sont plus souvent associés aujourd'hui qu'auparavant à la première étape « trouver les régularités », ***ils ont par contre le plus souvent un rôle très passif dans la seconde (modélisation) et la troisième (recherche de preuves) ; quant à la quatrième étape (retour au « réel de départ » pour évaluer la pertinence de la modélisation) elle est quasiment inexistante*** (et par suite ces comportements assez aberrants d'élèves ou d'étudiants, même très avancés, se comprennent davantage comme la conséquence de certains choix didactiques que comme une incapacité d'élèves trop jeunes, pas assez matures, dépassés par la complexité des savoirs profonds...).

Devant cette dernière affirmation assez abrupte : « *dans un enseignement classique les élèves et les étudiants ont le plus souvent un rôle très passif, voire inexistant dans la suite des étapes d'une démarche intellectuelle que nous déroulons devant eux* » on a tendance à vouloir objecter : « *s'il est vrai que les élèves/étudiants sont très passifs en cours, il ne faut pas oublier qu'ils ont par contre un rôle beaucoup plus actif en séance d'exercices et problèmes et en travaux pratiques !* »

Ce qui nous a poussés à introduire de « vrais débats » dans tous les moments d'enseignement collectif c'est précisément parce que nous avons remarqué que dans un enseignement traditionnel, quel que soit le moment didactique (cours, T.D., T.P.), ***c'est toujours le même type de contrat didactique qui est en vigueur*** : un contrat institutionnel dans lequel ce qui doit être considéré comme pertinent et/ou vrai par l'élève/étudiant est exclusivement ce qui est susceptible d'être considéré/sanctionné comme tel par l'institution.

De ce fait dans un enseignement classique, ni le cours, ni les exercices et problèmes ne sont conçus pour mettre l'élève/étudiant dans l'obligation de confronter (surtout s'il subodore une contradiction) ce qu'il pense personnellement au cours de chacune des quatre étapes dont nous venons de parler.

Le système du cours, T.D. - T.P. de la fac devrait d'une certaine façon jouer ce rôle de va-et-vient entre ces différentes étapes, mais en réalité, c'est très rarement le cas car les T.D. sont plus là pour appliquer le cours, pour le faire marcher aux endroits ad hoc que pour le revisiter sur le fond ; quant aux T.P. ils sont le plus souvent encore moins conçus que les T.D. de façon à questionner la théorie : quand - par bonheur - il y a, suite à une erreur de manipulation, contradiction entre théorie et pratique - donc occasion d'approfondir ce que l'on pense sur le fond - le plus souvent l'élève/l'étudiant a appris à falsifier ses résultats expérimentaux pour les faire coller à la théorie !)

Il en résulte l'acquisition de savoirs scolaires très compartimentés dans lesquels l'interaction réel/modèle est au mieux évoquée par le professeur mais très rarement mise en acte de son propre chef par l'élève/étudiant.

C'est donc en grande partie ce fonctionnement cloisonné de l'école que nous dénonçons (c'est la raison pour laquelle nous allons proposer aux paragraphes suivants d'alterner deux contrats didactiques très différents, **un contrat institutionnalisant et un contrat problématisant**) car c'est, à notre avis, ce cloisonnement induit par un unique mode didactique qui est le plus grandement responsable du fait que même les très bons élèves de cette école peuvent au plus haut niveau « bien connaître et maîtriser » des théories quand elles interviennent de façon ciblée dans le cadre de l'école, mais n'acquérir et ne garder de cette étude théorique qu'une connaissance très livresque. *Après de telles études, très peu semblent avoir acquis ce recul et cette sagesse dans l'action sur le réel qu'une véritable culture scientifique devrait en principe conférer à tout citoyen bien instruit.*

Au travers des différents contrats didactiques qu'ils ont rencontrés à l'école de la maternelle à l'université (contrats d'apparences différentes mais s'appuyant en fait presque tous sur les mêmes mécanismes cognitifs), ils se sont fait une idée de leur métier d'élève, de leur responsabilité pour comprendre, et aucun de ces contrats ne les a jamais, semble-t-il, fortement invités/forcés à effectuer d'eux-mêmes la tâche primordiale suivante : *comparer les significations profondes des concepts et théories connexes enseignées dans une même discipline ou entre plusieurs disciplines³⁴, vérifier leur adéquation, leur accord avec les réalités qu'ils connaissent par ailleurs et que ces théories ou concepts sont censées représenter, expliquer, modéliser.*

C'est ce cloisonnement des savoirs entre eux et avec les réalités externes à l'école qui pousse le plus, nous le pensons, ces sujets épistémiques à ne pas réagir quand par mégarde ils se retrouvent face à des contradictions évidentes entre théorie et pratique. Il apparaît même à certains moments que plus ces élèves/étudiants accumulent des années d'études et plus ces contradictions fortes entre deux modalités de la raison ne semblent pouvoir jeter le moindre trouble dans leur esprit.

On a l'impression que la répétition d'année en année d'un même contrat didactique tacite leur indique chaque jour un peu plus qu'il est hors sujet de faire de telles confrontations et par suite de plus en plus inconvenant en prenant de la maturité de vouloir s'insurger contre l'absurdité d'une situation en cas de désaccord flagrant !

Un double postulat épistémologico-didactique

A partir des observations que nous avons pu faire dans les classes et les amphithéâtres (voir les huit exemples de la deuxième partie) nous sommes enclins à poser le double postulat suivant :

- *les théories que nous instituons en classe sans proposer aux élèves/étudiants de participer à leur construction* au travers des quatre étapes d'une démarche intellectuelle authentique *ont très peu de chances de prendre sens* auprès de la plupart de nos interlocuteurs, car ce sont pour eux des démarches d'esprit sans histoire et sans intentionnalité forte (et ce même si nous leur parlons de l'histoire de la découverte et des intentions/hésitations des auteurs, ce qui crée un intérêt pour l'étude mais n'aide pas beaucoup à construire le sens profond de la théorie),
- *à force de présenter de cette façon concepts et théories* (sans vraie participation des élèves/étudiants mais seulement en leur proposant une suite de « monstrations »),

³⁴ C'était en principe le rôle des TPE mais ces dispositifs didactiques philosophiquement intéressants sont tellement orthogonaux aux pratiques du reste de l'enseignement qu'il est très difficile d'établir une complémentarité, une synergie entre ce qu'on fait et découvre ici et ce qu'on fait et apprend là !

ce que nous finissons par instituer comme type de démarche intellectuelle devient au fil des années pour nos interlocuteurs une sorte de grimace de démarche intellectuelle, ***une démarche aux antipodes d'une démarche intellectuelle authentique*** car, au lieu d'apprendre à ces sujets épistémiques à se construire les moyens d'assumer une responsabilité propre dans la recherche de pertinence et de vérité, nous leur apprenons seulement à être ***de « bons élèves » qui savent utiliser*** de façon ad hoc dans des situations d'école (pour les examens et concours) ***des vérités toutes faites qu'on peut mettre en œuvre sans avoir besoin pour cela de leur avoir construit un sens profond, ni d'en maîtriser la portée.***

II) Le cognitif ou les deux logiques complémentaires d'accès au sens profond des savoirs complexes

Quand on fait simultanément de l'enseignement et de la recherche, on constate que deux logiques très différentes (la logique de la découverte et la logique de l'exposition) donnent deux accès très différents et très complémentaires au sens d'une construction intellectuelle achevée (en particulier aux algorithmes, concepts et théories).

1) La logique de la découverte

Cette logique est par nature très erratique, *les idées et les propositions n'apparaissent ni dans leurs formulations finales, ni dans un ordre déductif.*

Pour l'essentiel, cette façon d'aborder ce qui deviendra dans les cas favorables un nouveau savoir permet de *découvrir en creux et/ou en projet la construction finale.* (les premières recherches montrent que certaines ambitions initiales et propriété attendues ne sont pas possibles/réalistes, elles indiquent en quoi les définitions et les concepts imaginés a priori ne peuvent ou ne doivent pas être envisagés comme on les pensait premièrement et peu à peu, toutes ces oppositions/contradictions avec notre projet initial par trop simpliste/ambitieux nous indique de façon de plus en plus claire ce vers quoi on devrait tendre!)

L'essentiel du sens se construit ici en découvrant peu à peu la complexité et la profondeur du problème auquel on s'attaquait au départ sans en mesurer toutes les dimensions : on prend ainsi conscience des *démarches trop naïves et trop frustrées qu'il va falloir remplacer par un cheminement plus complexe qui va rarement de soi*, qui ne se dessine pas a priori mais qui *se construit plutôt par essais/erreurs et analyse des erreurs* et des échecs pour atteindre des objectifs qui eux-mêmes se précisent au cours de l'étude.

Pour le chercheur auteur d'une théorie, la compréhension profonde de la complexité de l'édifice ainsi construit ne pose aucun problème et *vient du fait que par cette approche erratique du savoir rien ne tombe du ciel, tous les choix théoriques arrivent comme des réponses à des questions qu'il s'est posées ou des tentatives de dépassement d'erreurs et de contradictions* sur lesquels il a buté ; ainsi tout est sensé a priori pour cet auteur qui reconnaît une intentionnalité derrière les choix qui ont été effectués et qui sont donc pour lui fondés.

Par contre, on réalise vite en tant que chercheur que cette approche erratique seule ne suffit pas pour comprendre l'ensemble de la construction intellectuelle que l'on a effectuée car elle ne permet ni la maîtrise ni l'opérationalité globale de ce qu'on a néanmoins bien « intuité » et compris d'une certaine façon.

Tant qu'on ne reprend pas cette étude erratique dans un autre ordre (celui de l'exposition que l'on va adopter dans une thèse, un séminaire ou une conférence pour présenter cette recherche), le côté brouillon de cette démarche de la découverte rend très difficile le fait de faire la synthèse de ce qu'on a vu en totalité ou partiellement, maîtrisé ou non, de ce qui est superflu ou pas, de ce qu'il faut absolument mettre en avant ou au contraire mettre au second plan.

Ce n'est qu'après une telle mise en ordre que l'on va pouvoir utiliser une argumentation claire et économique qui permet de déduire un à un et en bonne logique, sans refaire dix fois la même chose, les résultats des hypothèses et des principes.

2) La logique de l'exposition

Par construction et effet de synthèse, cette logique consiste à l'inverse à éliminer tout le côté erratique de la démarche précédente afin de présenter immédiatement principes, notations, définitions et propriétés sous la forme la plus achevée qui s'est peu à peu dessinée après oubli, élimination et rectifications des propositions initiales et intermédiaires naïves, maladroitement, partielles et/ou partiellement erronées. L'avantage de cette autre logique, c'est qu'en faisant le bilan de tout ce qu'on a compris de positif au cours de la recherche, en écartant les erreurs et les fausses routes, on arrive maintenant à faire une présentation totalement déductive dans laquelle tout ce qui est choisi ou affirmé à un moment donné est dans le droit fil de ce qui précède et de ce qui va suivre ; chaque étape peut apparaître comme la suite logique (ou pour le moins se déduit logiquement) de ce qui précède (ce qui offre une forme de compréhension qu'on n'aurait pas aussi aisément ou peut-être pas si tout se présentait dans le désordre de la découverte).

Le sens qui se construit dans cette présentation du savoir est essentiel et n'est pas celui qui se construit dans la phase de recherche (ils sont très complémentaires et aucun des deux ne peut se substituer à l'autre) car c'est celui de la cohérence et de l'exhaustivité : à chaque instant l'auditeur ou le spectateur attentif de cette présentation sait formellement et de façon non ambiguë (en bonne logique) de quoi on parle, d'où on vient et où l'on va ; au niveau des résultats il peut toujours trouver une explication convaincante de la pertinence et de la vérité de ce qu'on lui avance, et de plus assez souvent, mais pas toujours malheureusement³⁵, une explication éclairante du pourquoi.

La facilité pour comprendre le savoir ainsi formalisé vient ici du fait qu'on ne rencontre plus tous les bruits et le désordre de la recherche, on n'a plus à se méfier des maladresses, des paradoxes et contradictions dus au fait qu'on n'a pas encore envisagé tous les possibles, on peut d'une certaine façon suivre de façon un peu aveugle l'enchaînement qui vous est donné sans avoir besoin de façon impérieuse de se poser la question du pourquoi ceci et du pourquoi pas cela, du « comment a-t-on pu avoir l'idée de passer par ici ou de poser a priori cela », ***tout ce questionnement (qui est nécessaire à la construction du sens profond) est d'une certaine façon « momentanément facultatif, voire malvenu » puisqu'il vous occupe l'esprit alors qu'il n'est pas nécessaire pour comprendre l'articulation qui vous est proposée pour aller sans heurts jusqu'au résultat.***

35 Les preuves plus élégantes qui se construisent après coup en restructurant les premières permettent souvent de mieux comprendre pourquoi ceci « marche » dans telle et telle condition et ne « marche pas sinon », mais parfois aussi cette belle restructuration convainc avec brio de la vérité du résultat sans pour autant éclairer sur le pourquoi alors que la demi-preuve, la preuve laborieuse qu'on avait trouvée en mode recherche et qui était incomplète ou formellement difficile à rédiger, donnait éventuellement une bien meilleure intuition de ce qui au bout du compte fait « marcher les choses » !

En fait, cette compréhension réelle de l'articulation des idées qui est grandement facilitée par la logique de l'exposition devient vite aussi une grande illusion de compréhension, car lorsqu'on a appris et « compris » très rapidement une théorie par cet unique processus (sans donc trop se poser de question sur le pourquoi et le pourquoi pas des choix qui sont ainsi faits à votre insu), il faut ensuite beaucoup se questionner pour arriver à « déconstruire ce bel édifice rationnel » afin de prendre conscience de ce qu'on n'a pas compris, car ***tous ces efforts de présentation qui ont été faits pour nous aider à « comprendre » tout de suite ce qui « marchait bien » nous a interdit d'une certaine façon d'en comprendre les secrets :*** tout découle si logiquement de ce qui précède, qu'on ne voit plus les choix qui ont été faits pour obtenir ce bel enchaînement, on ne voit même pas que ce sont des choix (de définition, de notation, de démarches, de principes) et que c'est précisément la plus grande pertinence de ces choix par rapport à d'autres choix qui étaient envisageables aussi, qui fait que la théorie qu'on vient d'apprendre est riche et permet d'aborder positivement des problèmes sur lesquels d'autres approches buttent.

Il s'ensuit une grande difficulté pour arriver à comprendre la philosophie profonde d'une démarche qu'on a suivie un peu aveuglément, et une plus grande difficulté encore pour arriver à l'exploiter et la transposer ailleurs, tant cet ajustement précis de la présentation nous cache qu'il y a des idées directrices sous-jacentes.

Ne voyant pas qu'une bonne part de qui a été choisi dans cette construction était guidé par une intentionnalité, par une philosophie, on a l'impression que chaque élément proposé est intangible et irremplaçable car dicté par une adaptation presque mécanique à l'aspect très conjoncturel de la situation étudiée ; de ce fait, on a du mal à exploiter cette théorie hors du contexte où elle nous a été présentée car, dès que la situation change un peu, on est perdu comme on l'est avec un puzzle dans lequel quelques pièces ont été interchangées avec celles d'un autre puzzle et qui de ce fait perd une grande part de son intérêt puisqu'on sait d'avance que quels que soient nos efforts d'adaptation, tout n'arrivera pas à s'emboîter convenablement.



III) Le didactique ou les deux contrats ou postures didactiques opposés et complémentaires pour respecter ces deux logiques

Nous appellerons contrat ou posture problématisant(e) ce qui permet pour l'essentiel de faire foctionner la **logique de la découverte**, et **contrat ou posture institutionnalisant(e)** ce qui permet de bénéficier de la **logique de l'exposition**.

Dans l'étude d'un savoir consistant, le croisement de ces deux contrats a pour fonction de permettre à la classe ou l'amphi de parcourir de façon équilibrée les quatre étapes d'une démarche intellectuelle authentique.

A) Le contrat didactique de la problématisation des savoirs

*Nous dirons que **le professeur propose un contrat problématisant**, a recours à un mode problématisant pour aborder un savoir quand il est convenu (tacitement ou explicitement suivant les moments) que **la pertinence et la vérité des énoncés généraux et des raisonnements utilisés pour introduire et établir un résultat dans la classe ou l'amphi sont a priori sous l'entière responsabilité intellectuelle des élèves/étudiants** (la formulation de ces énoncés - retranscrits éventuellement par le professeur pour qu'ils soient entendus et discutés par tous - n'est ni cautionnée par ce dernier lorsqu'ils sont corrects, ni immédiatement ignorée ou repoussée ou péjorée et encore moins corrigée par le professeur s'ils sont non pertinents, inexacts ou grossièrement faux !).*

Ce contrat permet donc à certains moments de problématiser un savoir nouveau dans les phases où le cours se construit de façon erratique à partir de débats sur des énoncés ayant vocation à devenir les propositions universelles du cours, et à d'autres moments il donne au professeur la possibilité **de re-problématiser des savoirs anciens ou récemment institués pour approfondir leur signification** en les mettant à l'épreuve dans des exercices et problèmes assez ouverts où **il s'agit principalement pour les élèves/étudiants de débattre de la pertinence et/ou de la justesse de solutions proposées.**

*Dans ce contrat le professeur demande donc à ses élèves/étudiants **d'être des sujets épistémiques³⁶ intellectuellement responsables de la vérité et de la pertinence de ce qu'ils proposent et de ce qui est mis en débat.***

La source principale de compréhension repose ici sur une démarche qui pousse l'élève ou l'étudiant à se questionner sur des problèmes susceptibles de **le rapprocher du sens qu'il devra donner aux savoirs qu'il ne connaît pas encore ou pas assez puisqu'on veut les lui enseigner**, tout comme le chercheur est amené par les difficultés qu'il rencontre et problèmes qu'il cherche à résoudre à se rapprocher du sens de ce qui n'existe pas encore, qui sera le fruit de sa recherche et qu'il devra précisément construire en suivant une logique d'exposition à partir des indications de sens qu'il a collectées en mode recherche informelle initiale.

Dans le principe du « débat scientifique en cours » le professeur organise ce cheminement du sujet **épistémique élève/étudiant se rapprochant peu à peu (par le jeu de ses questions et de ses propositions) du sens principal d'un savoir qu'il ignore encore en grande partie (ou dont le sens lui échappe) en lui réclamant d'être (à l'instar du chercheur) un auteur intellectuellement co-responsable d'une ébauche de théorie** : il

³⁶ Quand nous parlons du sujet épistémique élève/étudiant, nous essayons par cet adjectif de cerner les raisons qui semblent de nature à pousser ce sujet rationnel à penser ceci ou cela, à trouver telle ou telle proposition fondée ou non, pertinente, exacte, intéressante, utile ou pas !

l'invite donc à se poser d'abord pour lui-même des questions de fond autour d'un problème assez ouvert et à tenter d'y apporter des débuts de solutions qu'il doit ensuite essayer de formuler publiquement sous forme de **thèses (conjectures) qu'il défend** devant ses pairs en exploitant au départ **les formulations et les arguments qui le convainquent lui-même et en les faisant ensuite évoluer pour arriver à mieux se convaincre lui-même et à mieux convaincre ses pairs.**

Face au côté incertain de ces thèses et preuves de néophytes, le groupe classe ou amphi est alors invité à se comporter en communauté intellectuelle ayant la responsabilité de déterminer la pertinence et la validité de ce qui est conjecturé et d'amender/améliorer si nécessaire ce qui est proposé au moyen des outils intellectuels propres de la discipline, i.e. en s'appuyant sur les raisonnements et théories connues de tous et non en réclamant au professeur d'apporter sa caution institutionnelle.

Quand le professeur propose ce contrat didactique, **il fait l'hypothèse** qu'à partir du moment où chaque élève/étudiant se trouve placé en position de **devoir se forger une opinion et un jugement personnel** sur une situation ouverte et complexe ou sur des énoncés théoriques cruciaux (donc sur des objets intellectuels qui ne rejoignent pas forcément de façon évidente son domaine de pensée propre, surtout lorsqu'ils ont vocation à apporter un éclairage substantiel sur le monde), **cette position problématique oblige chacun de ces sujets épistémiques à commencer à donner un début de sens profond, une existence propre, une réalité, une consistance épistémologique à des objets théoriques qui lui échappent a priori** et qui sans cette problématisation risquent (à moins qu'il ne soit né savant) de lui rester longtemps très étrangers.

La dynamique de ce contrat repose donc sur l'existence d'un fort doute intellectuel dès le début de l'étude, doute largement entretenu par l'apparition des paradoxes et contradictions que suscite le débat :

– comme dans un contrat didactique classique, la situation proposée ici doit être claire dès le départ pour les élèves/étudiants et les indications données par le professeur complètes, mais cette clarté et cette exhaustivité ne se situent pas au même niveau qu'habituellement : la situation doit être non ambiguë vis-à-vis du type de questionnement que l'on cherche à provoquer et le professeur ne doit pas être obligé de rajouter sans cesse de nouvelles informations au cours de la recherche ; par contre, la situation peut comporter des ambiguïtés voulues pour créer un questionnement et les informations et connaissances dont chacun dispose au départ ne sont pas réputées être suffisantes ou non contradictoires pour aboutir au « bon résultat » (qui contrairement à ce qui sera tacitement convenu en mode institutionnel n'existe peut-être pas ici).

– la pertinence des énoncés généraux qui sont produits, les « vérités » sur lesquelles le groupe des élèves/étudiants doit statuer et débattre sont loin d'être assurées (ce sont le plus souvent des conjectures ou des thèses formulées et analysées par des pairs). Par suite les thèses soutenues et les arguments pour les défendre ou les combattre sont souvent contradictoires et aucune des parties en présence ne doit compter sur un quelconque soutien institutionnel immédiat pour trancher péremptoirement.

Le type de compréhension escomptée dans ce mode s'établit alors à deux niveaux

En pratique, le fait que le groupe classe ou amphi soit amené à prendre parti sur des

énoncés souvent naïfs (énoncés mal formulés, plus ou moins justes et/ou pertinents puisqu'ils sont proposés par des pairs et qu'ils sont non rectifiés/sélectionnés par le maître), énoncés donc le plus souvent suffisamment simples et maladroits pour être facilement améliorables (contrairement aux énoncés « parfaits » d'un mode institutionnel) a l'énorme avantage que *ces énoncés sont critiquables, améliorables par des néophytes*.

Ces énoncés provenant des pairs, pratiquement tous les participants (forts et faibles) peuvent oser les regarder de façon critique, donc apprendre à les critiquer pour les améliorer de façon collective à partir d'un principe épistémologique simple : repérer les propositions a priori « intéressantes », tenter ensuite d'en préciser « les bonnes idées » pour les garder et..., éliminer par contre tout ce qui est abusif (et qui rend profondément fausses ces idées intéressantes quand on veut leur donner valeur d'universalité) !

Ce « remue-ménage » qui reste pendant un certain temps à la portée de tout néophyte favorise deux niveaux de compréhension :

- *il permet d'abord à une majorité de se familiariser avec une théorie qui se construit erratiquement et prend ainsi de plus en plus de sens*. (Cette théorie reste le plus souvent trop formelle et abstraite pour pouvoir prendre sens quand elle est directement montrée dans la forme très achevée que le professeur exploite prioritairement dans le mode instituant ; elle représente une forme d'aboutissement de ce que la communauté savante a elle-même erratiquement construit initialement dans la durée et dans un mode totalement problématique.)

- ensuite la présence du doute, des paradoxes et contradictions dus à la complexité du savoir et/ou à de mauvaises interprétations spontanées de la situation et/ou à la faiblesse des raisonnements proposés pour établir des résultats, *oblige l'élève/l'étudiant à entrer de plein pied dans une problématique de responsabilité intellectuelle sur la vérité et la pertinence des théories* (responsabilité dont il est très fortement dé-saisi dans un mode exclusivement institutionnel car il se sent alors très/trop magistralement guidé par le professeur, trop assuré de la pertinence et de la vérité de ce qui lui est directement montré dans sa forme la plus achevée pour oser y introduire une pensée propre qui ne soit pas immédiatement vue comme iconoclaste car de « qualité très inférieure » !).

Ainsi, en tentant de s'approprier le sens d'un concept ou d'une théorie, l'élève/l'étudiant qui souscrit à ce contrat didactique s'introduit au sens profond des principaux résultats du cours et s'initie simultanément aux pratiques intellectuelles qui fondent la pertinence et la validité de ces résultats (il enrichit son épistémologie de la discipline car pour se rapprocher du sens profond d'un savoir donné il s'initie aux démarches intellectuelles authentiques qui produisent ce savoir et qui en garantissent la validité et le bon usage).

B) Le contrat didactique institutionnel

Il s'agit du contrat didactique par lequel le professeur introduit le savoir en suivant une logique d'exposition : les seuls énoncés et raisonnements reconnus comme valides (pertinents, vrais et intéressants) dans ce contrat sont ceux qui sont ou seront considérés comme tels dans la communauté savante.

Nous dirons donc que le professeur propose un contrat institutionnel

(« instituant » pendant les moments de cours magistral et « un contrat sur des savoirs institués » pendant les résolutions d'exercices et problèmes) quand **la pertinence et la vérité** des énoncés généraux et des raisonnements utilisés pour établir un résultat **sont sous son entière responsabilité de « maître »**.

En d'autres termes, les élèves de la classe ou les étudiants de l'amphi qui entrent dans ce contrat didactique savent que la pertinence et la vérité des énoncés généraux qui sont utilisés dans la classe ou l'amphi pour avancer dans le cours ou traiter des exercices et problèmes, **ne doivent faire l'objet d'aucun doute personnel, n'ont pas à être soumis à leur réflexion critique propre, car même lorsqu'ils sont proposés par des pairs, ils sont systématiquement mis en avant ou pour le moins tacitement cautionnés par le professeur s'ils sont pertinents et exacts** et par contre immédiatement interrogés, mis en doute, rejetés ou corrigés par ce dernier s'ils sont non pertinents ou inexacts.

La source principale de compréhension escomptée pour l'élève ou pour l'étudiant dans ce contrat repose donc principalement

– **sur la qualité des explications magistrales** (justesse, cohérence, clarté, exhaustivité du discours du professeur, capacité de ce dernier à se mettre à la portée de chacun par l'usage d'exemples et de métaphores, capacité aussi de susciter un intérêt pour l'étude en montrant où l'on va et à quoi sert ce qui est montré),

– **sur la coopération de l'élève/étudiant qui doit tenter à chaque instant de se mettre en osmose avec la pensée du professeur** : il écoute, cherche à comprendre et/ou à appliquer en s'adaptant constamment à l'intentionnalité supposée des déclarations, des silences et des consignes magistrales.

Par ce contrat didactique, le professeur invite donc ses élèves/étudiants à adopter une posture de **sujets épistémiques auditeurs et utilisateurs d'une théorie instituée** : ils ont à **suivre attentivement le cours**, prendre des notes, ne pas hésiter à poser des questions techniques auxquelles le professeur répondra le plus clairement possible, participer à la résolution d'exercices et problèmes mettant en application ce qui vient d'être enseigné et auxquels le professeur donnera une correction.

L'élève/étudiant qui accepte ce contrat ne peut donc mettre en cause la pertinence ou la validité de ce qui lui est magistralement proposé, ne peut se rebeller ou interroger avec insistance le professeur sur le fond de ce qui est mis en jeu que s'il a le sentiment fort qu'il y a une contradiction totale et durable entre ce qui est dit ici et ce qu'il avait cru entendre là (et avait tenu pour pertinent et vrai puis qu'apparemment institué) ; il ne peut donc tenter de se manifester sur le fond que s'il ne comprend plus rien à ce qu'on fait ou lui demande de faire depuis un certain temps et dans ce cas il est le plus souvent bien difficile au professeur de satisfaire à sa demande !

En résumé, dans ce contrat il est convenu que **le professeur donne à ses élèves/étudiants toutes les explications nécessaires** pour qu'ils puissent entendre en rationalité ce qu'il énonce magistralement et pour qu'ils puissent ainsi apprendre et retenir l'essentiel du programme sans entacher cette présentation du savoir d'omissions ou d'erreurs importantes.

Si le professeur introduit des exercices et problèmes dans ce contrat, les questions ont des réponses assurées qui se trouvent en exploitant convenablement les savoirs déjà institués, le travail de recherche de l'élève/l'étudiant est de découvrir comment ce qui lui a été montré antérieurement s'applique convenablement ici pour aboutir à « la

solution proposée ».

Dans un contrat institutionnel on escompte donc voir l'élève/l'étudiant construire une part importante du sens profond des savoirs du cours, un sens qui va lui permettre d'opérationnaliser tout ce qu'il a pressenti dans les phases de recherche et de débat.

Le mécanisme cognitif qu'on souhaite voir fonctionner dans ces phases institutionnelles est le suivant : puisque la pensée de l'élève/étudiant est ici encadrée par des énoncés, des résultats et des raisonnements cohérents et complets dont la vérité et la pertinence ne sont pas (ou plus) en débat (ne sont pas ou plus l'objet de la réflexion présente), ce sujet épistémique bénéficie alors d'une ossature intellectuelle solide qui lui permet de consacrer la totalité de ses énergies

– à vérifier que la théorie qui lui est maintenant proposée sous une forme synthétique est suffisamment claire et convaincante (pour son entendement propre) pour qu'il puisse y adhérer rationnellement sans réserves,

– à s'assurer aussi qu'il peut appliquer les procédures institutionnalisées et qu'elles se révèlent chaque jour un peu plus à l'usage suffisamment logiques et naturelles pour qu'il veuille, qu'il ose et qu'il arrive à les exploiter sans hésitations en situation ad hoc, même si elles ne correspondent pas du tout à la démarche qu'ils auraient spontanément adoptée au début de l'étude.

Dans cette construction de sens qui vise la cohérence de ce qu'il est convié à apprendre, le sujet épistémique vérifie donc qu'il y a de moins en moins de zones d'ombre sur les points importants qui ont été abordés à un moment ou à un autre, il veille à ce qu'il y ait de moins en moins de résultats et de raisonnements montrés ou démontrés, clairement institués comme savoirs du cours, qui demeurent néanmoins sans objet pour lui ou même qui aillent a priori « contre » ce qu'il pense intuitivement ou ferait spontanément s'il n'était aussi fortement guidé.

Les élèves qui acceptent ce contrat savent donc qu'ils vont comprendre en partie le sens des savoirs théoriques du programme en observant comment ils s'appliquent dans les situations où ce qui a été antérieurement montré par le professeur à propos des concepts et techniques du programme suffit largement pour obtenir le résultat demandé, ils savent donc qu'ils peuvent dans ce contrat parvenir d'autant plus certainement et rapidement à la réponse souhaitée, à construire « la bonne solution », qu'ils ne laissent pas leur attention être détournée/parasitée (comme dans la vie ordinaire ou dans les phases de « débat ») par du bruit, des doutes, des manques d'informations, des présentations incorrectes/incomplètes, des contradictions, des formulations hasardeuses et des questions inadaptées ou sans réponses claires.

Si par moments des élèves/étudiants ont l'impression de ne plus du tout comprendre ce qui vient d'être institutionnalisé (voire éprouvent un sentiment d'absurdité ou de vide de sens) et s'ils pensent que cela n'est pas le fait d'un simple manque d'information, d'un oubli ou d'un malentendu fortuit, mais touche davantage au sens profond qu'ils accordent ou n'arrivent pas à accorder à ce savoir, et si par bonheur le professeur pressent cela, tous ont tendance (spontanément quand ils sont en mode institutionnel) à vouloir traiter « monstrativement » cette difficulté de sens profond, i.e. sans changer véritablement de contrat : d'un côté

l'élève/étudiant demande une nouvelle explication mais plus simple ! et de son côté le professeur tend à redonner la même explication, mais en insistant moins sur la théorie et plus sur la pratique opératoire ou en l'exemplifiant sur un cas particulier où tout « marche » bien et facilement ou encore en ayant recours à une métaphore particulièrement parlante.

Notre observation est que le plus souvent ce pseudo-changement de contrat (on reste dans un contrat institutionnel mais on tend à problématiser en apparence le savoir) ne permet pas de dépasser cet obstacle de compréhension de fond : même si, après cette nouvelle explication, les élèves/étudiants semblent acquiescer à la question du professeur « est-ce plus clair maintenant ? », ils n'ont pas forcément perçu par cette explication simplifiée ce qui les empêchait véritablement de comprendre l'essentiel, et même si certains d'entre eux sont conscients qu'ils ne comprennent pas davantage sur le fond, il leur est difficile de faire une nouvelle demande qui va indiquer soit qu'ils ne sont pas capables de comprendre, soit que les explications du professeur sont inopérantes, ce qui dans les deux cas est très difficile à admettre quand on reste dans un contrat institutionnel.

C'est la raison pour laquelle nous proposons (paragraphe suivant) dans des cas comme celui-ci de changer radicalement de contrat pour sortir de l'impasse, et donc de revenir localement à un mode clairement problématisant si on pense important de trouver ce qui à ce moment précis verrouille totalement la compréhension de fond.

Relation entre ces deux contrats didactiques

Il est clair que ces deux contrats didactiques s'appuient sur des mécanismes cognitifs diamétralement opposés : d'un côté c'est le doute à propos de la pertinence et de la vérité des propositions qui conduit l'élève/l'étudiant à construire un type de sens, de l'autre c'est au contraire la certitude que ce qui est proposé est pertinent, cohérent et valide qui permet de construire un autre type de sens.

La thèse que nous défendons au travers du principe du « débat scientifique en cours » (thèse que nous allons préciser au travers des huit points du paragraphe suivant) c'est qu'il ne faut surtout pas tendre à mélanger dans des mêmes moments ces deux contrats didactiques, à les dissoudre dans un contrat hybride semi-institutionnel, semi-problématisant, parce que dans ce cas l'élève/l'étudiant au lieu de s'interroger sur la signification profonde du savoir, passe son temps à se poser la question « *quel sujet épistémique suis-je censé être face à cette question, cette proposition, cette contradiction ?* ».

Il ne faut surtout pas, pensons-nous, dissoudre ces deux modes didactiques en un mode hybride sans véritables ressorts cognitifs et sans consistance épistémologique, mais au contraire en respecter les spécificités propres pour pouvoir les alterner afin de faire intervenir chacun d'eux aux moments judicieux où il est le plus à même de faire avancer la construction d'un sens profond auprès d'un grand nombre d'élèves ou d'étudiants.

En d'autres termes, pour pouvoir adopter le principe du « débat scientifique en cours » il faut à notre sens faire la double observation suivante :

- ***puisque lors des situations problématisantes le professeur s'interdit d'apporter sa caution de « maître » à la vérité et/ou à la pertinence des thèses et arguments proposés dans les « débats » afin de permettre aux élèves/étudiants de développer en responsabilité une pensée propre,***
- ***puisque ce professeur ne dit pas ce qu'il « faut savoir » à ces moments afin***

que les « débats des élèves » restent de « vrais débats scientifiques»,

toute situation qui problématise bien un savoir ne peut (ne « doit ») jamais être conçue comme un outil didactique auto-suffisant.

Les vrais « débats » du contrat problématisant doivent donc, à notre sens, toujours être suivis d'une phase d'institutionnalisation dans laquelle le professeur change de contrat, passe en mode institutionnel (et les élèves/étudiants avec lui) pour pouvoir utiliser toute la force explicative de la logique d'exposition et, en exploitant simultanément les éléments qui lui semblent les plus signifiants et pertinents qui ont été débattus auparavant pour introduire, instituer de nouveaux savoirs et/ou approfondir en sens et en cohérence un savoir plus ancien ou déjà partiellement institué.

Et... réciproquement, puisque l'on constate partout que les savoirs complexes introduits exclusivement dans un contrat institutionnel ne permettent le plus souvent à une grande majorité d'élèves/étudiants qu'une construction d'un sens très superficiel, produise des apprentissages très formels et scolaires au mieux adaptés à l'introduction des techniques opératoires, ***« il faut absolument » nous semble-t-il que ces périodes institutionnelles soient précédées et parfois suivies de périodes problématisantes si l'on souhaite véritablement que le cours magistral joue tout son rôle structurant*** dans la construction et l'enrichissement du sens profond des savoirs fondamentaux du programme.

La construction d'un premier niveau de sens profond que permettent les phases problématiques est donc, à notre sens, un préalable incontournable du cours magistral.

En clair, si les deux contrats alternent, les phases d'institutionnalisation qui interrompent momentanément ou concluent une phase de « débat » par un cours magistral, permettent au professeur d'exploiter « sans risques » (ou plus exactement de façon beaucoup moins risquée) tous les atouts de compréhension qu'apporte une présentation bien structurée à un sujet épistémique auditeur critique car les élèves de cette classe ou les étudiants de cet amphitheâtre disposent maintenant des moyens nécessaires pour être des auditeurs critiques de ce type de discours.

La synergie forte qui résulte de l'exploitation successive de ces deux types de contrats est la suivante : pendant le cours magistral les élèves/étudiants peuvent adjoindre aux explications formalisantes et synthétisantes qu'ils reçoivent, tous les éléments de prise de sens sur le savoir que représente pour eux le fait d'observer comment leur professeur reprend maintenant de façon totalement logique et ordonnée les solutions qu'ils ont erratiquement et partiellement fait émerger en phase problématique et arrive ainsi à répondre de façon plus certaine, plus achevée, plus satisfaisante aux questions qu'ils se sont effectivement posées auparavant au cours des différents débats qui ont produit du sens mais n'ont pas en général débouché sur des réponses et solutions complètes et assurées.

Si ces deux contrats alternent, le sens profond des savoirs ainsi étudiés peut donc se construire d'une certaine façon pendant les phases problématiques où l'élève/l'étudiant découvre comment il pense spontanément une situation complexe, ***et d'une autre façon pendant les phases institutionnalisantes*** où ce même élève/étudiant met alors en regard ce qu'il a pensé et proposé spontanément à partir d'une situation et ce que la

communauté savante l'invite maintenant à voir et à penser par moments de la même façon et à d'autres très différemment.

C) Observations et principes à partir desquels ces deux contrats didactiques peuvent entrer en synergie dans la construction du sens profond.

La thèse que nous défendons ici de façon pratique en explicitant les observations et principes sur lesquels nous nous appuyons quand nous adoptons le principe du « débat scientifique en cours » est celle que nous venons de développer et que nous résumons de la façon suivante :

Nous partons du principe général que ***pour pouvoir comprendre ce qui est essentiel*** dans l'étude d'un savoir fondamental il faut pouvoir ***exploiter les deux logiques*** d'accès au sens du savoir, la logique de la découverte et la logique d'une présentation déductive ; dans ces conditions les moments institutionnels, en particulier le cours ***magistral, comme les moments problématisants, en particulier les « débats », sont à notre sens deux outils didactiques complémentaires inaliénables, aucun des deux ne peut être érudé, ramené à la portion congrue sans prendre le risque de couper pour une majorité d'élèves/étudiants, l'accès à une part importante du sens des concepts et des théories.***

Par suite, il nous semble important de ***mettre en évidence des principes aidant à penser l'organisation locale et globale d'un enseignement*** en n'oubliant jamais que pour une très grande majorité d'élèves/étudiants aucun des deux modes institutionnel et problématique ne leur permet à lui seul de construire un sens profond satisfaisant sur les savoirs les plus fondamentaux d'un programme.

Cinq principes permettent de régir le bon fonctionnement du débat scientifique en cours

1) Partant de l'observation

des incohérences épistémologiques qui guettent tout enseignement qui renâcle à assumer son caractère institutionnalisant, en particulier qui ne se charpente pas autour d'un cours magistral, nous prenons acte du caractère en un sens « irremplaçable » de ce cours magistral que beaucoup d'enseignants négligent ou péjorent « parce qu'il ne servirait à rien ! », et

nous posons un premier principe incontournable:

« Le cours magistral est nécessaire comme charpente d'un enseignement tant pour les élèves/étudiants que pour le professeur ! »

2) Partant de l'observation

que le contrat institutionnel (donc en particulier le cours magistral mais aussi les exercices et problèmes classiques) non seulement n'empêche pas la formation de contre sens et de non sens rédhibitoires, mais que de plus il

tend à les rendre invisibles aux yeux des élèves et du professeur en interdisant aux élèves de les produire de façon explicite nous posons alors comme

second principe incontournable

« Des phases problématisantes spécifiques encadrant des phases institutionnelles sont nécessaires pour faire émerger les contre sens et les non sens inévitables et ébranler les conceptions erronées qui font obstacles à la construction d'un sens profond »

3) Partant enfin de la troisième observation :

« Lorsqu'on aborde un nouveau sujet d'étude dans une classe ou un amphi

- le professeur sait exactement où il va (il a une certaine familiarité avec le savoir qu'il veut instituer , il sait où le placer par rapport aux autres savoir) et de plus il a intériorisé les pratiques intellectuelles propre à l'étude et au maniement de ce savoir ; grâce à ce double savoir méta de professionnel, d'instinct le professeur repère ce qui est essentiel à prendre en compte dans une situation donnée et ce qui est non pertinent, d'emblée il pressent les procédures susceptibles d'être efficaces et celles qui ont toutes chances d'échouer ;

- les élèves /étudiants ne savent pas (ou très peu) où ils vont, et même si le professeur le leur indique « clairement » ils ne disposent pas à priori de tous ces savoirs méta du professionnel qui donnent spontanément beaucoup de sens à pratiquement toutes les actions didactiques organisées dans la classe ou l'amphi et n'y ont réellement accès dans un mode institutionnel qu'en fin de l'étude (le jour où -s'ils y arrivent - ils voient bien comment ce savoir fonctionne parmi les autres savoirs) et exceptionnellement et de façon très formelle en cours d'étude s'ils « entendent bien les éventuelles remarques méta » que le professeur fera occasionnellement à leur sujet,

nous faisons alors l'hypothèse

que c'est en grande partie ce décalage de savoirs méta entre élèves et professeur qui explique les décalages importants de sens que l'on constate à tous les niveaux d'enseignements, voire par moments qui crée une sorte d'incommunicabilité³⁷ totale des bonnes explications que le professeur souhaiterait pouvoir donner directement à ses interlocuteurs.

Nous posons alors comme troisième principe absolu

La nécessité d'organiser des « débats » spécifiques en cours pour installer comme des connaissances communes de la classe ou de l'amphi ces savoirs méta du professionnel que le néophyte ne peut avoir initialement et qui lui sont néanmoins indispensables si l'on souhaite qu'il puisse lui aussi donner spontanément sens aux actions didactiques auxquelles il est confronté à

37 En effet, quand le savoir est délicat à expliquer/justifier ce professionnel s'appuie instinctivement, donc sans le vouloir et sans forcément s'en rendre compte, sur des référents méta que ses interlocuteurs n'ont pas, ce qui engendre par moment des contre sens énormes, voire des sentiments de vide de sens total qu'éprouvent certains élèves/étudiants et qui justifie ensuite le peu d'intérêt qu'ils manifestent pour l'étude en soi et le peu d'efficacité de leurs apprentissages.

chaque instant (et un sens compatible avec celui que leur confère spontanément le professeur) .

Nous postulons donc la nécessité d'exploiter les différents « débats scientifiques » qui seront organisés des le départ et tout au long de l'étude pour construire avec la classe ou l'amphi une double problématique de savoirs méta :

- ***une problématique de questionnement sur la place et la fonction du savoir***
- ***une problématique de repérage des démarches intellectuelles adaptées au maniement de ce savoir***

Ces deux problématiques qui peuvent assez naturellement être introduites par le débat des le début de chaque nouvelle étude, puis enrichies au cours de l'étude d'une part en vérifiant que l'on répond aux questions initiales où en s'apercevant qu'il faut les modifier et d'autre part en découvrant l'efficacité de nouvelles pratiques intellectuelles pour anticiper ou prouver, doivent alors permettre à ***chaque élève de la classe, à chaque étudiant de l'amphi de disposer*** des le départ et tout au long du déroulement du cours et de ses applications, mais différemment du professeur, ***d'outils intellectuels susceptibles de l'aider à repérer ce qui est essentiel de comprendre*** et de retenir pour pouvoir appréhender en bonne compréhension ce savoir pendant le cours magistral ou une séance de travaux dirigés et ainsi pouvoir construire un sens profond aux théories et concepts qui s'y expose dès leur premier abord et tout au long du développement théorique et pratique de l'étude. ***(et pas seulement a posteriori et seulement pour quelques uns !)***

4) De façon globale (quatrième principe d'alternance des deux contrats)

- ***pour installer ces deux problématiques de savoirs méta*** et les enrichir tout au long de l'étude,
- ***pour lever les malentendus et contre sens profond,***
- ***pour pouvoir redonner une responsabilité intellectuelle à la classe ou à l'amphi quand une trop grande passivité et un trop fort suivisme des élèves/étudiant leur interdit l'accès à la complexité de la situation et par suite ne leur permet pas de construire un sens profond,***

nous postulons la nécessité d'instaurer une « coutume d'alternance entre des périodes de « vrai débat » dans la classe ou l'amphi et des périodes franchement institutionnelles et magistrales », coutume qui, une fois bien installée, permet au professeur de faire passer très rapidement la classe ou l'amphi d'un contrat institutionnalisant à un contrat problématisant et vice versa à chaque fois que la logique du contrat en vigueur apparaît comme beaucoup moins bien adaptée que celle de l'autre contrat pour poursuivre ou relancer l'étude.

Disposer de cette coutume dans la classe ou l'amphi signifie que la pratique du « débats scientifique » est ***suffisamment bien rodée*** et sa fonction suffisamment bien comprise par tous pour que

- ***d'un coté le professeur puisse facilement interrompre une phase institutionnelle pour introduire un « vrai débat » afin de lever un malentendu ou d'approfondir une problématique ad hoc ou encore redonner une responsabilité intellectuelle à la classe ou à l'amphi***

- d'un autre coté (symétriquement) le professeur puisse de la même façon interrompre un débat même lorsqu'il est loin d'être achevé, afin d'institutionnaliser le caractère adéquat /inadéquat d'un résultat qui vient d'être obtenu ou d'une démarche intellectuelle qui vient d'être mise en œuvre au cours du débat, ou tout simplement pour reprendre la responsabilité intellectuelle afin de clore plus rapidement (le professeur estimant dans ce cas que le débat est allé assez loin pour que chacun se pose les bonnes questions et soit au cœur de la problématique souhaitée)

Bref ce que nous postulons ici c'est la nécessité d'installer une connivence et une coutume d'alternance et de synergie entre ces deux contrats afin que le professeur puisse **passer très naturellement de l'un à l'autre sans que les élèves /étudiants se sentent frustrés et/ou soient pris de doute** vis à vis de la pertinence de cette conduite didactique « changeante » d'un professeur qui au lieu de rester toujours sur un même registre de responsabilité intellectuelle, passe brutalement d'un contrat à l'autre ; attitude qui sans connivence et sans coutume pourrait vite apparaître à certains comme une sorte d'arbitraire magistral dans lequel le professeur effectue des changements inopinés de contrat didactique sans raisons (sans raisons que l'élève/étudiant puisse comprendre, accepter et faire sienne)

Ces quatre principes nous allons en expliciter le fonctionnement et en argumenter le bien fondé tout au long des parties II, III et IV de la façon suivante :

- La deuxième partie « **Observations de la nécessité épistémologique et didactique d'une forme de débat scientifique en cours** », pourra être regardée comme la description et l'analyse d'une suite d'observations de classe ou d'amphis qui montrent toutes et chacune à leur façon la présence cachée de contre sens et non sens impressionnants que le mode institutionnel ne peut pas voir en face, interdit en principe mais n'éradique absolument pas.

Dans la plupart de ces situations nous montrerons alors de quelle façon l'alternance de deux contrats permet d'aborder différemment cette double carence didactique :

- l'introduction d'un mode problématisant peut d'abord permettre de faire surgir ces contre sens au moment où on décide de s'y attaquer et dans la foulée tenter de les traiter sur le fond i.e. amener les élèves/étudiants qui font ces contre sens et éprouvent ces non sens à les expliciter en discutant des paradoxes et contradictions qui apparaissent assez naturellement dans une situation problématique ad hoc.

- une fois que ces sujets épistémiques ont commencé (en particuliers grâce aux conflits que le mode problématique suscite) à se construire des raisons méta personnelles de penser autrement, cette amorce de changement profond de point de vue sera renforcée par une institutionnalisation de type méta elle aussi dans laquelle le professeur insistera tout autant sur la pertinence du nouveau point de vue, de la nouvelle pratique intellectuelle, que sur l'inadéquation du point de vue /pratique intellectuelle antérieur en soulignant fortement toutes les « bonnes mauvaises raisons » qui nous poussent néanmoins dans un premier

mouvement de l'esprit à considérer comme valides ces résultats ou pratiques inadaptés.

- *dans la troisième partie « Analyse de la nécessité sociale et éthique d'une forme de débat scientifique à l'école »* nous essayons de comprendre pourquoi toute notre formation, notre état de spécialiste et notre position de Maître nous poussent à croire envers et contre tout en la puissance explicative irrésistible du mode institutionnel au point d'imaginer qu'il peut suffire à lui seul pour faire comprendre l'essentiel. Nous analysons pourquoi, malgré tout ce que nous observons dans les réactions des élèves/étudiants, en particulier dans leurs copies, nous pouvons nous illusionner à ce point sur la puissance explicative de l'énonciation cohérente et déductive du savoir et ce même lorsque nous savons pertinemment que nos interlocuteurs ne partagent pas encore ou ne partagent plus, ou ne partageront jamais les problématiques adaptées aux savoirs que nous tentons de leur enseigner (d'une certaine façon pourquoi nous persistons à garder une même didactique monstrative alors que nous savons que faute de réflexion méta nos interlocuteurs ont toutes chances d'accumuler les contre sens et les non sens sur ce qui est le plus important et par suite le plus complexe à comprendre, pourquoi nous arrivons néanmoins à nous aveugler sur tout cela dans notre action quotidienne d'enseignement et d'évaluation) .

- *dans la quatrième partie « mise en pratique »* nous cherchons à préciser des critères et des endroits où il nous semble très important d'exploiter pleinement l'un ou au contraire l'autre contrat

Ainsi nous développerons quelques-unes des raisons qui nous font penser que s'interdire comme le font certains professeurs d'avoir recours à un mode franchement instituant, pour ne pas perdre/ennuyer les élèves, ne pas développer suffisamment donc la partie magistral du cours pour ne pas paraître dogmatique, risque de représenter un manque énorme pour la construction du sens profond (manque important pour l'élève/étudiant bien sûr, mais manque important pour le professeur aussi dans la vision qu'il a de ce qu'il devrait globalement pouvoir articuler simplement pour parvenir à un moment donné ou un autre à introduire la théorie de façon compréhensible et cohérente dans la classe ou l'amphi, pour ne pas risquer de trahir au bout du compte ce qui fait le propre de la discipline enseignée)

Nous chercherons également à étiqueter les moments où la sur-exploitation de l'un ou l'autre de ces deux contrats (par exemple en sur-ajoutant des explications ou des exercices d'application afin de surmonter une difficulté dans le partage du sens profond, ou à l'inverse en faisant perdurer un mode de recherche/débat qui n'apporte plus rien de nouveau car rien n'est vraiment problématique) risque de déboucher sur une perte de temps, une sorte d'inanité didactique qui peut aller jusqu'à l'absurdité didactique (absurdité pour le professeur d'enseigner ainsi et absurdité pour l'élève/l'étudiant d'apprendre de cette façon).

Partie II : Nécessité épistémologique et didactique du « débat scientifique » dans un enseignement

Soit encore, présentation et analyse de huit situations d'enseignement dont la stabilité montre la nécessité de ce type de débat si l'on souhaite préserver le sens même des disciplines que l'on enseigne.

Préambule

Comme nous l'avons relaté dans l'historique de nos recherches, le principe du « débat scientifique » en cours a pour origine un très fort sentiment de vide épistémologique des concepts et des théories étudiées à l'école par un élève ou un étudiant qui très souvent ne comprend véritablement ni la nature ni la fonction de l'activité intellectuelle à laquelle il est convié pour apprendre les savoirs du programme.

Ce principe d'enseignement « révolutionnaire » s'est ainsi construit comme une sorte de révolte du professeur, comme une réaction de sa propre survie dans ce métier contre l'absurdité didactique qui guettait trop de moments de l'étude collective qu'il organisait lui-même en faisant cours :

- pourquoi tant d'élèves et d'étudiants au sujet desquels beaucoup d'indices montrent hors de l'école qu'ils sont entreprenants, imaginatifs et « intelligents », sont-ils par contre si passifs en cours, cherchent-ils si peu à comprendre véritablement, ont-ils un comportement intellectuel aussi irresponsable, voire stupide, se cachent-ils à eux-mêmes, à leurs pairs et au professeur leur peu d'intelligibilité de la situation ?
- pourquoi un si grand nombre de sujets épistémiques arrivent-ils ainsi à étudier un même concept, une même théorie, à suivre les mêmes raisonnements plusieurs années de suite sans réaliser que l'essentiel de leur sens profond leur échappe, sans arriver à intérioriser quoi que ce soit d'important au niveau conceptuel qu'ils puissent réutiliser de façon autonome ensuite,
- pourquoi peuvent-ils ainsi garder d'une année sur l'autre les mêmes points aveugles, les mêmes non sens et contresens ?

Dans la quatrième partie nous essayerons de montrer comment ce principe permet en pratique de mettre suffisamment en synergie la « logique de la recherche » et la « logique de l'exposition magistrale »³⁸ pour lutter contre cette pauvreté du sens des apprentissages scolaires et ce bien que ces sujets épistémiques ne soient pas encore des chercheurs professionnels et que la plupart d'entre eux n'aient pas vocation à le devenir.

Nous reviendrons longuement dans la partie III sur ce que nous appelons « nécessité d'une forme de débat scientifique en cours » au niveau social et éthique et il nous faudra alors préciser sur quels critères sociaux et éthiques nous nous basons pour éprouver cette « nécessité », puisque tout le monde ne la ressent pas comme nous, puisque l'école montre tous les jours et à très grande échelle qu'on peut « très bien enseigner » sans recourir à des procédés didactiques aussi coûteux et complexes !

Dans cette seconde partie nous nous plaçons par contre prioritairement au niveau épistémologique et cognitif pour indiquer de quelle façon le « débat » est à notre sens d'une certaine façon « nécessaire » comme outil de dénaïvation, de désaveuglement cognitif du professeur et de ses interlocuteurs épistémiques : de notre point de vue, aucun autre outil didactique (ce qui le rend en un sens irremplaçable) ne montre avec autant d'instantanéité, de pertinence, d'à propos et d'acuité ce que les élèves d'une classe ou les étudiants d'un amphi comprennent effectivement ou non dans un cours et/ou dans une séance d'exercices !

En prenant du recul par rapport à nos propres expériences d'enseignement il nous apparaît que ce désaveuglement des acteurs directs de l'enseignement, élèves/étudiants et professeur, à propos de l'état réel du sens dans une classe ou dans un amphi, est d'une certaine façon un préalable à tout changement significatif vers plus de sens profond, et ce non par un attachement morbide à vouloir mettre en exergue tout ce qui ne va pas à ce niveau, mais parce que nous constatons que ce sont précisément les prises de conscience sporadiques de cet effondrement du sens dans nos propres enseignements qui nous ont conduits à aller de plus en plus loin dans cette recherche.

Après théorisation de notre propre évolution, ces prises de conscience « douloureuses » pour le professeur comme pour les élèves de la pauvreté habituelle du sens dans une classe ou un amphi ordinaire nous semblent être des passages obligés de tout progrès réel de l'école vers plus de sens profond.

38 Logiques que nous avons définies au chapitre 3 de la première partie.

En effet, favoriser la construction du sens profond des savoirs auprès d'une majorité d'élèves/étudiants est une ambition démocratique et humaniste que beaucoup de professeurs partagent, mais, malheureusement, cela ne suffit pas pour que ce rêve devienne réalité :

- *aller effectivement dans cette direction au quotidien de l'enseignement* (et pas seulement dans des moments exceptionnels et hors classe) est et restera toujours beaucoup plus difficile et périlleux que d'enseigner proprement des savoirs très peu problématisés, très scolarisés, très organisés pour demeurer assimilables/restituables par l'élève/étudiant même lorsque leur signification propre lui échappe en grande partie,
- résister (*au quotidien de l'enseignement*) à la tentation de n'enseigner que ces savoirs parfaitement bien adaptés au fonctionnement interne de l'école qui se transforment vite en techniques/recettes suppose que le professeur ait intériorisé le fait que de tels savoirs ne favorisent pas vraiment une éducation du citoyen qui soit à la hauteur³⁹ des défis démocratiques que ce dernier devra obligatoirement affronter pour se situer dignement dans la société et comprendre un monde chaque jour plus complexe à lire dans sa globalité (car de plus en plus saturé de techniques et de modes de communications qui masquent mécaniquement et/ou volontairement la philosophie des actions entreprises ou à entreprendre).

Par suite, tant qu'on pourra continuer - comme c'est le cas aujourd'hui dans la plupart des classes et des amphis - à enseigner avec un certain succès des savoirs qui se présentent à l'élève/étudiant plus comme des techniques/recettes que comme une philosophie de vie, sans que personne ne voit crûment apparaître les dégâts que ces choix (ou plus exactement ces non choix) didactiques engendrent au niveau de la construction (plus exactement la non construction) du sens profond, l'école n'aura aucune raison forte de remettre en question ses modes didactiques les plus enracinés.

Trompés par un système d'évaluation des connaissances qu'ils font fonctionner en suivant consciemment ou non une tradition qui évite soigneusement de se poser la question du sens profond construit ou pas par les élèves/étudiants, les professeurs hésiteront donc beaucoup avant de se lancer dans des aventures comme celles que nous présentons ici (ils n'en verront pas du tout la nécessité comme nous la ressentons).

On constate qu'il y a ici une sorte de cercle vicieux didactique : moins on ouvre de vrais débats dans un enseignement et moins on a de raisons objectives de voir l'utilité d'en ouvrir.

Pour cette raison principalement, c'est donc en terme de *proposition de désaveu-
glement sur le sens réel qui se construit au fil des années dans nos classes ou nos amphis* que nous vous présentons dans cette seconde partie ces huit *observations de situations « ordinaires » de classe ou d'amphi*.

Ces observations qu'il nous a été possible de faire (et pour certaines de refaire des années durant en multipliant les « débats » sur un même sujet d'étude) sont « ordinaires » car elles sont à notre avis très représentatives de la façon dont nos élèves/étudiants apprennent/comprennent actuellement ce qu'on pourrait considérer comme des savoirs essentiels d'un programme ; elles sont néanmoins extra-ordinaires dans la mesure où elles montrent avec une très grande acuité jusqu'où peuvent aller les attitudes intellectuelles

39 Ce que nous essayerons de montrer dans la troisième partie.

alarmantes auxquelles beaucoup d'élèves et d'étudiants (même de niveau très avancé) « s'initient » dans nos propres enseignements en grande partie à notre insu.

Nous essayerons de montrer dans la troisième partie pourquoi d'un côté ce que nous observons ici est « invisible » dans un contrat exclusivement institutionnalisant et pourquoi, d'un autre côté, cette cécité sur le sens est d'une certaine façon consubstantielle au contrat didactique unique qui facilite énormément la « réussite » à l'école.

En effet, d'un côté un mode à dominante institutionnelle ne permet pas de savoir vraiment ce que l'élève pense sur le fond (ce n'est pas dans la logique de ce mode didactique) **et d'un autre côté c'est cette cécité du professeur et des élèves/étudiants** sur le sens qui se construit ou non qui **permet aux enseignements classiques de fonctionner en adoptant ce mode institutionnel comme mode préférentiel quasi unique** puisque (grâce à sa cécité sur le sens profond) ce mode institutionnel permet d'avancer très vite, de parcourir assez « facilement » des programmes difficiles et ce même lorsqu'on s'adresse à des élèves/étudiants qui n'ont pas du tout intériorisé les pratiques intellectuelles qu'ils sont censés avoir acquises les années précédentes.

En principe, ces pratiques intellectuelles manquantes ou déformées jusqu'à la caricature comme nous allons le constater sur chacun de ces exemples, devraient totalement bloquer tout système d'enseignement qui se préoccuperait fortement de la construction du sens profond puisqu'elles sont d'une certaine façon (comme nous l'avons vu au chapitre 3 de la première partie et le (re)préciserons dans la quatrième partie) indispensables pour comprendre véritablement ; or, « miraculeusement », ce blocage ne se produit pas !

En réalité, on s'aperçoit en approfondissant ces huit observations qu'il n'y a pas de miracle à l'école qui produirait a posteriori du sens profond évitant ainsi les blocages, mais qu'au contraire, c'est précisément parce que beaucoup d'enseignements sont organisés de façon à ce que le « drame du sens » ne se voit pas, c'est parce que la généralité du non sens et des contradictions ne peut s'y manifester trop bruyamment⁴⁰, c'est donc grâce à cet aveuglement collectif et plus ou moins accepté par beaucoup sur la réalité du sens profond dans la classe ou l'amphi que le système didactique dominant dure et perdure malgré toutes les occasions fortuites où chacun, professeur, inspecteur, élève, étudiant, parent, adulte sorti de l'école, pourrait aisément se rendre compte qu'il ne reste souvent que bien peu de chose sur le fond de ce qu'on a appris trois mois auparavant et - pire encore - de ce qu'on a rencontré, appris et « approfondi » des années de suite !

L'essentiel de cette seconde partie est donc réservé à la présentation et à l'analyse de ces huit situations paradigmatiques que nous ressentons comme alarmantes, situations que nous avons choisies dans la mesure où elles mettent bien en évidence ce que nous révèlent tous les jours les « débats scientifiques » que nous organisons dans les classes ou les amphis ou dans des stages de formation de professeurs.

Nous avons choisi de mettre en avant ces situations également parce qu'elles nous paraissent toutes assez simples à analyser et que chacun peut, nous semble-t-il, les réutiliser telles quelles (ou construire des situations de même nature dans d'autres disciplines) dans ses propres enseignements pour voir si, comme nous le postulons, ce que nous relatons ici (un

40 Grâce en particulier à un système d'évaluation qui permet toujours d'espérer d'une certaine façon qu'au moins les bons élèves/étudiants ont compris ou finiront par comprendre l'essentiel, et que pour ceux qui ne sont pas totalement perdus, qui n'ont pas de notes catastrophiques, ça s'arrangera à la longue, ils finiront par savoir reproduire correctement ce qui aura été repris et mis en application plusieurs années de suite !

certain vide épistémologique, de grands malentendus au niveau du sens profond des concepts et des théories enseignés parfois depuis des années) n'est pas conjoncturel et propre à quelques élèves/étudiants particulièrement obtus, mais reflète bien l'état du système dans lequel nous sommes tous immergés pour prodiguer nos propres enseignements de la maternelle à l'université.

Chapitre 1 : Présentation de huit situations alarmantes

Avant de proposer une à une ces huit situations ainsi que leur analyse, essayons de préciser les caractéristiques communes qui nous poussent à les mettre en regard et les critères à partir desquels nous les considérons comme paradigmatiques et révélatrices d'un fonctionnement à notre avis inacceptable du sens profond d'une démarche intellectuelle authentique dans les classes et les amphis ordinaires.

A) Nature commune de ces huit situations

Les huit situations que nous soumettons à votre réflexion ci-après permettent de mettre en évidence des comportements collectifs d'élèves/étudiants pour le moins « surprenants »⁴¹ !

1) Des situations construites pour faire surgir le non sens.

Comme nous l'avons déjà souligné, ces situations sont « ordinaires » en ce sens qu'on peut rencontrer un peu partout et à tous les niveaux les types de problèmes épistémologiques et didactiques qu'elles soulèvent ; par contre ces situations sont « extra-ordinaires » dans la mesure où elles ont quasiment toutes été ***expressément construites pour rendre plus visibles les potentiels malentendus sur le sens profond***, malentendus qu'on a repérés à partir d'indices de dysfonctionnement du sens relevés ici et là, mais qu'on pourrait ignorer d'une certaine façon ou passer par pertes et profits si, comme cela se fait habituellement, on ne créait pas les conditions de leur explicitation.

En effet, dans la plupart de ces situations si on ne pousse pas les élèves/étudiants dans leurs retranchements (par exemple par un vote sur des conjectures explicitant le malentendu possible, suivi d'un débat entre pairs pour défendre les éventuelles thèses adverses), on peut en

⁴¹ Comme la situation que nous vous avons présentée en introduction à la première partie où une étudiante propose froidement de garder ou de « jeter » un terme dans un calcul, suivant qu'on désire faire ce calcul de façon « courte » ou « normale » !

tant que professeur de la classe ou de l'amphi estimer que ce qui surgit au départ sous forme de question, remarque ou réponse saugrenue émanant d'un sujet épistémique isolé, n'est pas forcément très grave, que c'est une affaire de circonstances, que le problème était « mal posé », qu'il s'agit probablement d'un malentendu de pure forme, que cet élève/étudiant n'a pas bien lu/interprété notre question, notre problème.

On peut aussi se dire que ce qui est vraiment choquant dans les propos que tiennent quelques élèves/étudiants, n'est probablement le fait que de quelques individus marginaux qui disent habituellement « un peu n'importe quoi » et qui ne sont donc absolument pas représentatifs de ce que pensent la plupart de leurs pairs.

Mais précisément, comme la pratique du « débat scientifique » nous a régulièrement montré tout le contraire, en particulier que certaines énormités⁴² du type de celles qui vont apparaître dans ces exemples sont très souvent le fait de l'ensemble de la classe ou de l'amphi et pas seulement des quelques individus naïfs/maladroits qui se sont imprudemment exposés à dire tout haut ce qu'ils pensaient sur le fond (et qui ont ainsi montré plus grossièrement que les autres qu'ils n'étaient pas du tout sur la même planète que le professeur au niveau du sens profond), il nous a semblé utile, pour nous-mêmes d'abord dans nos propres enseignements, et pour les collègues ensuite qui explorent les possibilités du « débat », de ne pas continuer à minimiser ces obstacles à la compréhension de fond mais au contraire de disposer de situations qui les mettent en exergue et si nécessaire permettent de les laisser aller à leur paroxysme.

Pour cela donc, nous avons construit des situations ad hoc qui permettent d'épingler au moment voulu ces malentendus probables du sens dans leur dimension propre, afin de permettre d'abord au professeur d'en mesurer l'ampleur avec chaque cohorte d'élèves/étudiants précise et ensuite si nécessaire d'en faire prendre conscience au groupe classe ou amphi et pouvoir ainsi traiter ces dysfonctionnement du sens à la racine (et en tirer ainsi le bénéfice dans l'étude de la suite) plutôt qu'au niveau des effets collatéraux négatifs qu'ils produisent inmanquablement sans qu'on puisse véritablement y « remédier » (cautère sur jambe de bois).

Nous savons bien qu'habituellement, lorsque des indices de dysfonctionnement du sens se produisent dans un cours ou un T.D., c'est très souvent comme par hasard au moment où on souhaiterait le moins discuter de cela car un autre sujet paraît plus urgent à traiter tout de suite (finir la démonstration, finir l'exercice, finir le cours car on est en retard dans le programme, etc. etc.). Le « débat scientifique » qui (lorsque c'est une pratique courante de la classe ou de l'amphi) permet instantanément et à peu de frais (i.e. sans nécessiter une organisation complexe) de faire ressortir ce qu'il en est sur le fond quand des signes de non sens apparaissent, nous a alors très souvent montré que ces indices pris au sérieux révèlent qu'il existe à ce sujet, et parfois depuis bien longtemps (dans certains cas depuis des années), des malentendus et des contresens largement partagés par le groupe classe ou amphi.

Ainsi, quand au bout de quelques années d'enseignement on sait d'expérience que certains malentendus sur le sens véritable vont presque sûrement exister à grande échelle dans la classe ou l'amphi et seront probablement si profonds qu'ils interdiront (si on ne les aborde pas de front) non seulement un début de compréhension véritable de l'enseignement en question, mais risqueront de plus de continuer à miner fortement le sens de tout ce qu'on va faire après, il peut être judicieux de choisir un moment et une situation propice (comme celles que nous vous présentons ici) pour les faire émerger plutôt que d'attendre de se faire

42 Énormités inimaginables a priori pour un professeur assez « monstratif » qui pense souvent avoir été bien compris de presque tous ses interlocuteurs après moult explications/ recommandations *apparemment* bien acceptées par les élèves/étudiants qui suivent !

surprendre par ce type de dysfonctionnement du sens à un moment où, comme par hasard, on aimerait bien pouvoir se préoccuper d'autre chose !

Ce sont donc pour la plupart des situations provocatrices de type « extra-ordinaire » que nous vous proposons ici.

Des situations « extra-ordinaires » et non des pièges !

S'il est vrai que toutes les situations que nous vous présentons ici partent de réactions spontanées d'élèves/étudiants, *nous insistons pour redire que nous les avons presque toutes (re)construites a posteriori de façon à pouvoir mettre plus sûrement en évidence les malentendus sur le sens que nous subodorions et ainsi les faire surgir au moment voulu lorsqu'ils sont effectivement présents dans la classe ou l'amphi.*

Ce ne sont pas des « pièges » dans la mesure où leur but n'est pas de faire fauter celles ou ceux qui n'ont pas bien écouté ou ont oublié, il s'agit par contre de faire prendre conscience d'éventuels contresens ou malentendus de fond qui ne se résorberont probablement pas même si nos interlocuteurs nous écoutent avec beaucoup d'attention lorsque nous nous donnons la peine de leur rappeler et commenter les bonnes règles ou de leur redonner les bonnes explications originales.

Ces situations ont donc été construites de façon à pousser l'élève/l'étudiant à dire sans réticence ce qu'il pense assez spontanément, que ce soit pertinent/exact ou non.

En principe ces situations ne donnent donc aucun indice annonciateur d'une difficulté de sens ou d'un possible contresens aux élèves/étudiants même très attentifs et studieux, rien n'est fait pour forcer leur attention sur la présence de paramètres non pertinents bien que présents ou inversement sur l'existence de paramètres à prendre en compte bien que non explicités ; tout ceci est fait de façon non pas à « piéger l'élève/l'étudiant inattentif », mais à lui laisser des marges de manœuvre et d'initiative intellectuelle importantes afin de savoir ce qu'il pense sur le fond et agisse en notre présence comme si nous n'étions pas là pour contrôler son action⁴³!

Pour que ces montages didactiques qui ont été conçus pour lever le doute sur la réalité du sens dans des groupes permettent à chacun de raisonner à partir de ses convictions et habitudes intellectuelles propres, il est indispensable qu'ils ne se présentent pas à eux comme des sortes de tests d'évaluation, mais plutôt comme une vraie question qu'on a le droit de se poser et à laquelle on peut éventuellement répondre à partir de ses acquis mais sans jamais avoir appris de réponse canonique à ce sujet.

Pour cela nous avons cherché à poser des questions ou des problèmes très classiques sur le fond mais de façon un peu décalée par rapport aux formulations des questions ou problèmes usuels, de telle sorte que l'élève/l'étudiant ait spontanément envie de proposer une réponse personnelle ou une solution originale qui révèle le plus possible ce qu'il pense sincèrement sur le fond et non ce qu'il pense devoir penser en tant qu'élève en vertu du contrat didactique existant dans la classe ou l'amphi sur une telle question.

⁴³ Nous savons tous qu'un même élève/étudiant ne dit pas, n'écrit pas, ne pense pas la même chose suivant qu'il se sent ou non mis à l'épreuve par un maître qui cherche à le questionner sur un point précis.

Ainsi nous avons souvent essayé de masquer dans un premier temps derrière des questions assez anodines la « vraie question » qui permettra dans un second temps de révéler la présence ou non d'un problème de sens profond, nous avons fait cela de sorte qu'aucun élève/étudiant ne puisse deviner d'entrée de jeu en regardant notre formulation ou notre comportement de professeur (comme le font très spontanément les bons élèves) ce que nous attendons de lui.

Quand nous exploitons certaines de ces situations dans nos propres enseignements, nous avons coutume d'exploiter dans un deuxième temps (après le traitement des questions anodines) le contrat du « débat scientifique » soit pour amener les élèves/étudiants à poser ou à formuler eux-mêmes la vraie question, le problème « extra-ordinaire » que nous voulons soumettre à la réflexion de tous, soit pour pouvoir pousser jusqu'à leurs extrémités les indices de dysfonctionnement du sens quand ils apparaissent déjà sur les questions initiales assez anodines et classiques.

2) Des situations construites pour dépasser le non sens.

L'intérêt principal de traiter par le « débat en classe ou en amphi » ces situations extra-ordinaires qui poussent les élèves/étudiants à exploiter les procédures intellectuelles erronées qu'ils n'exhibent pas habituellement dans les situations plus « ordinaires » dans lesquelles les questions et problèmes sont formulés de façon si traditionnelle que tous les bons élèves au moins subodorent immédiatement que ce n'est pas cela qu'il faut faire (alors que ce sont néanmoins ces procédures intellectuelles erronées qu'ils adopteraient assez spontanément s'ils se retrouvaient seuls face à un problème épistémologique de cet ordre), l'intérêt principal donc c'est que dans ce dispositif didactique collectif, ces mêmes élèves/étudiants vont d'abord pouvoir ***prendre conscience qu'il y a un dysfonctionnement dans leur façon propre de raisonner ou de concevoir le problème, et simultanément ils vont pouvoir bénéficier de l'aide du professeur et du groupe des pairs qui par effet miroir et en leur apportant la contradiction vont les forcer à expliciter la nature des significations erronées qu'ils se sont involontairement construites. Toutes ces interactions vont ainsi les aider à défaire les nœuds cognitifs qui leur interdisent résolument de sortir de l'impasse tant qu'ils sont seuls à se débattre avec leurs propres contradictions.***

Comme nous allons le voir sur plusieurs de ces exemples, ces procédures intellectuelles erronées nombre d'élèves/étudiants se les sont forgées depuis des années et ne sont jamais parvenus à les faire évoluer positivement car lorsqu'elles ont engendré des paradoxes et des contradictions qui auraient dû en principe provoquer spontanément des remises en questions salutaires, c'est le plus souvent lorsqu'ils étaient seuls pour démêler l'écheveau et il leur était alors été très difficile de relier convenablement la contradiction qu'il constatait à une mauvaise interprétation qu'ils effectuaient d'une définition ou d'un concept : face à une contradiction il est souvent pratiquement impossible de trouver seul le recul nécessaire pour formaliser ce qui ne va pas dans sa propre façon de penser, pour arriver à mettre en évidence « qui engendre quoi » !

Laissés seuls face aux paradoxes et contradictions qu'engendrent leurs propres contresens, la plupart des élèves/étudiants ont donc tendance à abandonner assez rapidement l'analyse des situations paradoxales qui en découlent et du coup ces non sens et ces contradictions s'enkystent, ce qui explique que l'on va pouvoir retrouver (nous le verrons très clairement dans certaines de ces huit situations) des comportements proprement hallucinants

d'étudiants (même de très haut niveau) qui traînent parfois depuis des dizaines d'années des cercles vicieux dans lesquels ils retombent quand ils sont en situation délicate car ils n'ont jamais eu l'occasion de les rompre en cours ou en travaux dirigés ou en confrontant théorie et pratique dans les T.P., parce que dans tous ces lieux de travail collectif il n'est pas vraiment dans le contrat didactique traditionnel de l'élève/étudiant de faire ressortir trop bruyamment les paradoxes et contradictions qu'il ressent (même et surtout s'il les ressent très fortement).

C'est là où il nous semble que de vrais « débats scientifiques entre pairs » deviennent des outils didactiques quasi irremplaçables car ils font émerger les différents points de vue erronés présents à ce moment dans le groupe classe ou amphi, points de vue dont le caractère contradictoire peut grâce à la présence d'un professeur, être clairement explicité et formalisé, ce qui va permettre à beaucoup d'élèves/étudiants de prendre conscience que leur façon de penser « rationnellement » la situation conduit à de telles impasses qu'il va leur falloir absolument réviser leurs points de vue, trouver des raisonnements plus solides, inventer des preuves mieux établies pour pouvoir trancher de façon moins fragile, plus fondée, entre le vrai et le faux, le pertinent ou non.

3) En conclusion.

Nous vous proposons donc d'observer/d'analyser dans cette partie comment on peut faire surgir à des endroits et à des niveaux d'étude très différents des malentendus profonds sur le sens avec une force et une étendue telles qu'on ne peut plus les ignorer.

Nous sommes persuadés que ces malentendus, chacun d'entre nous les voit apparaître subrepticement (par exemple en corrigeant les copies) ici et là mais, dans un contrat didactique plus traditionnel, cela se produit généralement de façon tellement plus douce, tellement moins provocatrice qu'on peut très facilement les ignorer et/ou les regarder seulement comme une simple présomption de dysfonctionnement du sens.

Redisons à nouveau que nous n'exhibons pas l'étendue et la force de ces malentendus pour donner force à nos thèses en faisant ainsi preuve d'un catastrophisme prosélytique et morbide, mais parce qu'il nous semble a posteriori que ***c'est seulement à partir du moment où l'on commence à imaginer*** à quel point il est possible (voire probable) ***que de tels malentendus existent et puissent très naturellement aller se nicher à des endroits***, à des niveaux et sur des proportions d'élèves/étudiants ***totalempensables a priori*** (surtout si on a été soi-même très bon élève) ***qu'on peut aussi se mettre à concevoir sérieusement que des modes didactiques constructivistes de type « débat scientifique » ont un réel intérêt*** (voire représentent une nécessité) ***didactique*** : concevoir que ces didactiques aventureuses ne sont pas des gadgets à utiliser pour sortir de l'ordinaire, quand on a le temps, en fin de programme, quand on a fini de traiter l'essentiel par les moyens classiques (i.e. jamais), mais plutôt comme des outils didactiques pertinents pour aborder au quotidien de l'enseignement ce qui est essentiel (donc difficile à comprendre) en ayant beaucoup plus de chance d'en garder le sens principal avec l'ensemble de la classe ou de l'amphi et pas seulement avec une infime minorité.

B) Problématique d'analyse de ces diverses situations

Le critère principal de lecture et d'analyse que nous avons adopté sur ces exemples consiste à chercher à identifier la nature des démarches intellectuelles qui s'y manifestent.

Comme annoncé précédemment, nous allons essayer dans les situations qui vont suivre de montrer comment certains événements particuliers (anodins) de classe ou d'amphi qui ne sont au départ que des indices forts de détournement ou d'absence de sens sur un point particulier peuvent être transformés par le professeur *de façon à pouvoir devenir des révélateurs de démarches intellectuelles plus ou moins profondément erronées* : dans un certain nombre de cas nous allons tenter de montrer comment ces situations didactiques aménagées ou réaménagées en cours de route par le professeur indiquent le plus souvent, avec une grande acuité, que *ce n'est pas du tout le type de démarche intellectuelle authentique* que nous avons précisé au chapitre 3 de la première partie que nos interlocuteurs semblent avoir saisi/acquis au cours de leurs études secondaires et/ou universitaires, mais bien souvent le contraire même !

Très brièvement rappelons comment nous avons précisé au chapitre 3 de la première partie ce qui caractérise à nos yeux l'authenticité de la démarche intellectuelle que l'élève/l'étudiant adopte lorsque, pour répondre à une question ou traiter un problème « réel », on l'invite à effectuer un travail théorique afin de mieux appréhender la situation, mieux comprendre de quoi il retourne sur le fond, et si possible, acquérir des certitudes qu'il puisse partager par le raisonnement avec autrui.

Nous avons alors défini une démarche intellectuelle authentique dans une classe ou un amphi comme une sorte de *va-et-vient volontaire et permanent, une mise en synergie consciente* (de la part de l'élève/étudiant comme du professeur) entre quatre étapes/démarches.:

La première étape est l'entrée dans la problématique : elle débute souvent avec l'observation et le constat d'un fait particulièrement marquant et/ou de régularités. Dans cette étape le sujet épistémique élève/étudiant tend à se faire une opinion personnelle de la situation ou du problème, à se poser ses propres questions et éventuellement à émettre des premières conjectures...

Dans la seconde étape, la modélisation, il s'agit pour ce sujet épistémique d'arriver à comprendre dans quelle mesure il est dans l'obligation de définir et/ou de créer un modèle pour pouvoir aborder de façon plus objective le problème, généraliser les observations particulières, préciser et résoudre effectivement les conjectures initiales.

La troisième étape est une recherche de preuve intellectuelle dans laquelle on tente de prouver dans le modèle (sans prendre appui de façon déterminante sur ses intuitions/ observations initiales) les régularités induites par une première intuition/expérimentation, prouver donc dans le modèle, ou rejeter par la logique de la raison, les conjectures formulées au cours des deux étapes précédentes.

La quatrième étape est celle du retour au réel initial pour confronter en terme de pertinence et de vérité les résultats rigoureusement établis/obtenus dans le modèle, aux faits constatés/observés initialement dans un certain réel plus flou que l'on a

cherché à théoriser pour l'éclairer et acquérir quelques certitudes supplémentaires à son sujet.

La thèse que nous défendons au travers de la présentation et de l'analyse de ces exemples est alors que si une telle proportion d'élèves/étudiants (même de très bon niveau) adoptent, ***par moments au moins, des démarches intellectuelles si opposées à celles que nous attendons a priori, c'est parce que leurs préoccupations épistémologiques sont trop souvent neutralisées par un contrat didactique très/trop exclusivement institutionnel*** qui les pousse en permanence à ne pas se préoccuper de certaines étapes cruciales de cette démarche intellectuelle authentique et surtout à ***séparer totalement ces étapes qui, de notre point de vue, ne prennent véritablement sens et pertinence qu'en les traitant en interaction, en va-et-vient, en synergie et de façon très complémentaire.*** (Un contrat scolaire qui en divisant l'énoncé du savoir en matières, sous-matières et chapitres, en savoirs exigibles ou non à l'examen, tend à compartimenter si fortement les concepts et les théories que cela finit par interdire toute interaction/synergie entre les divers concepts et théories et entre les divers domaines de réalité qui les concernent).

Précisons ici que certaines de ces situations ont été exploitées pendant de nombreuses années (une vingtaine pour certaines situations comme celles du « jean » ou des « situations infinitésimales ») et ont montré un comportement si stable des élèves/étudiants qu'il nous a été possible de prévoir une institutionnalisation des « débats des élèves/étudiants » qu'il est très peu nécessaire de modifier a posteriori (à la fin d'un débat précis) tant le fond de ces débats se reproduit de façon quasi identique année après année sur différentes cohortes placées face à la situation montrée ou à des situations très analogues sur le fond.

Dans certaines de ces situations (« jean » et « situations infinitésimales ») nous ajouterons donc un volet didactique qui montre comment nous institutionnalisons auprès des professeurs en formation les problèmes de détournement de démarches intellectuelles que ces situations mettent en exergue.

Ce volet institutionnalisation donnera simultanément un aperçu sur la façon dont on peut exploiter avec des professeurs en stage de réflexion pédagogique certaines situations initialement conçues pour faire évoluer les conceptions des élèves/étudiants, afin de sensibiliser ces professeurs en formation initiale ou continue aux différents problèmes de sens que nous soulevons ici.

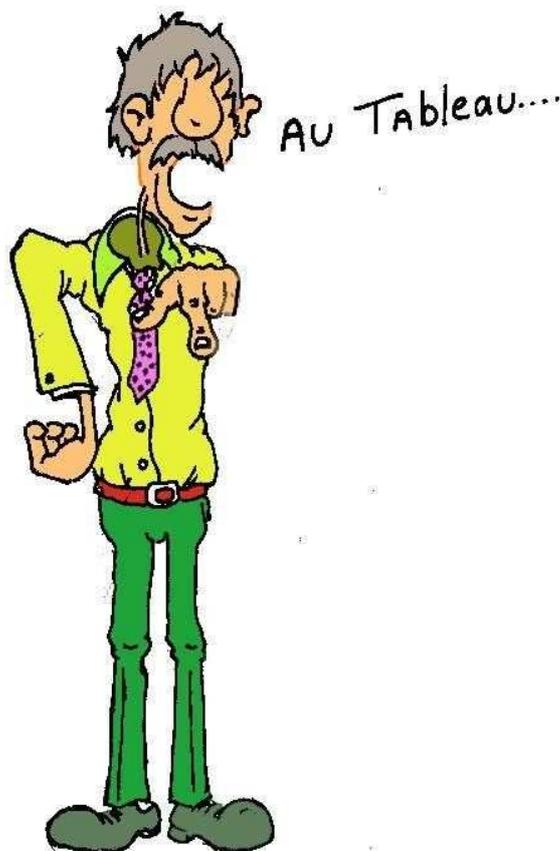
En faisant dans un premier temps vivre au premier degré de telles situations extra-ordinaires à ces professeurs en formation, il nous est peu à peu apparu qu'il est plus facile de les convaincre après coup de la nécessité d'oser questionner les modes didactiques classiques à partir desquels ils ont majoritairement étudié eux-mêmes en tant qu'élève/étudiant et qu'ils reproduisent probablement avec leurs propres élèves/étudiants, s'ils découvrent en acte (i.e. si l'expérience de leur groupe vient en faire la démonstration magistrale) que ces modes didactiques ont le plus souvent laissé s'installer chez eux, à leur insu, des non sens et des contresens importants (d'une certaine façon « inacceptables » pour des professeurs) sur des concepts et des théories qu'ils ont néanmoins tous longuement étudiés avec un certain succès.

Ils peuvent alors réaliser qu'ils auraient très probablement pu beaucoup mieux comprendre et intérioriser l'essentiel et déjouer les « pièges du sens » inhérents aux savoirs théoriques et abstraits (obstacles épistémologiques) s'ils avaient abordé ces questions théoriques de façon plus problématique au cours de leurs propres études ; ils peuvent alors plus

facilement imaginer qu'il risque d'en être de même pour leurs propres élèves/étudiants s'ils perpétuent ces didactiques peu problématiques.

A partir donc de l'analyse de ces exemples paradigmatiques en terme de détournement des démarches intellectuelles authentiques, l'étude que nous tenterons d'effectuer dans la troisième partie autour du « pourquoi cette sorte de cécité de l'école vis-à-vis du détournement ou de l'absence de sens profond ? » et « pourquoi cette sorte de schizophrénie de l'enseignant qui d'un côté, tient le sens des concepts et des théories pour fondamental, mais d'un autre côté, n'accorde pas à ses élèves les moyens de le construire effectivement ! » apparaîtra peut-être alors plus clairement ***non pas comme une charge contre l'école et une attaque de ses professeurs***, mais plutôt comme une critique fondamentale de l'institution dans laquelle nous travaillons et qui nous contraint tous énormément à notre insu dans nos conceptions et nos pratiques didactiques.

Cette critique constructive, il nous semble indispensable de l'effectuer à un moment donné ou à un autre dès lors que nous souhaitons aller résolument vers une reconquête du sens profond pour le plus grand nombre possible des élèves/étudiants que nous instruisons et éduquons de fait ainsi ; ***c'est de notre point de vue, redisons-le, un passage obligé pour que l'école soit réellement au service de l'égalité républicaine***, c'est-à-dire permette à chacun de se réaliser pleinement en s'affranchissant des déterminismes sociaux limitant et stériles.



Chapitre 2 : Les huit situations

- 1) L'âge du capitaine ou l'exemple initial révélateur du détournement principal de sens profond (école primaire) page 169.
- 2) Le parallélogramme d'aire figée ou l'absence de recherche des variables pertinentes (en première année d'université) page 173.
- 3) Une activité en or ! (au lycée) page 181.
- 4) La lune qui s'emballe en cours de physique (à l'université) ! page 204
- 5) L'interpolation toujours linéaire et la fausse rigueur (en licence de math). Page 206.
- 6) Le « jean » dont les bas de jambes ne pourront jamais sécher sans balayer le sol (avec des moniteurs en thèse) page 211
- 7) La « terrible » révélation des fantômes écossais (au lycée et à l'université) page 226.
- 8) Les équations infinitésimales ou l'éloge des vertus pédagogiques des cercles vicieux en thèse ! Page 235.

1) L'âge du capitaine ou l'exemple initial révélateur du détournement principal de sens profond

Autour des années 70 un groupe de l'IREM de Grenoble a réalisé une expérimentation à l'école primaire dont nous ne rapportons ici que les éléments qui nous sont apparus comme des avertisseurs très significatifs et prémonitoires de tout ce qu'on a pu observer ensuite au niveau du sens et de la pertinence dans le secondaire, puis dans le supérieur.

Au problème suivant posé très sérieusement en classe par le professeur :

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

aucun élève ne s'insurge contre l'absurdité du problème, mais au contraire chacun semble chercher à donner une réponse plausible à cette question du professeur ; ainsi sur 97 élèves de CE1 et CE2, 76 donnent une réponse en utilisant au mieux les nombres figurant dans l'énoncé :

- 26 moutons donc 26 ans !
ou
- $26 + 10 = 36$ ans !!
- personne ne propose par contre $26 \times 10 = 260$ ans !!! ce qui nous pousse à dire que même désorientés par un « problème absurde », les élèves ne font pas « n'importe quoi en classe ! »

A ce problème iconoclaste les chercheurs avaient pris soin de rajouter une question inhabituelle en classe :

Que penses-tu de ce problème ?

- Peter qui avait été droit dans le mur puisqu'il avait répondu
« le capitaine a 26 ans »,
ajoute sans la moindre réticence :

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

réaction qui nous indique très clairement à quel point cet élève est conscient de l'absence de lien logique au niveau sémantique entre la question qui lui est posée et la réponse qu'il donne et qu'il juge néanmoins satisfaisante ; il montre ainsi la distinction énorme qu'il semble faire entre un problème scolaire (sans enjeu de sens) et un problème réel (dans lequel les inférences doivent avoir un sens plausible).

- Un peu plus tard un chercheur qui discutait avec Paul lui pose la question :
« Tu as dix crayons dans chaque poche, quel âge as-tu? »

afin de voir si le fait de parler à cet élève de lui-même (au lieu d'un capitaine inconnu) allait le conduire à adopter une attitude dans laquelle il tendrait à faire coïncider sens et pertinence,

mais sans hésitation Paul (CE1-CE2) lui répond :

« j'ai vingt ans ! »

Devant ce déni de réalisme le chercheur lui dit en riant :

« mais enfin Paul tu sais très bien que tu n'as pas vingt ans ! »

Et à la grande surprise de cet enseignant-chercheur, Paul lui répond sans hésitation :

« C'est ta faute, tu ne m'as pas donné les bons nombres ! »

Nous interprétons cette anecdote de la façon suivante :

Le fait qu'aucun élève de la classe ne s'insurge contre une question absurde comme le feraient beaucoup d'enfants de cet âge dans la vie ordinaire et que presque tous ces élèves répondent en utilisant au mieux les chiffres de l'énoncé est pour nous ***révélateur d'un contrat didactique fort qui indique aux élèves qu'un professeur ne pose jamais des questions absurdes ou au hasard***. Si le professeur pose cette question en classe, c'est qu'elle a du sens et admet donc une réponse rationnelle même si les apparences semblent dire le contraire; par suite ***s'il donne des chiffres précis, c'est qu'il faut les utiliser convenablement pour obtenir la réponse rationnelle attendue***.

La plupart de ces élèves n'ont donc pas perdu toute capacité de jugement rationnel en entrant dans cette salle de classe, ils font au mieux (le plus intelligemment possible) leur travail d'élève, c'est-à-dire qu'ils répondent à une question absurde dans la vie courante en l'interprétant comme une question raisonnable s'ils la placent dans leur contrat d'élèves qui face à un problème où figurent des nombres doivent principalement savoir les additionner ou les multiplier convenablement entre eux si on semble le leur demander !

Quand Peter qui, semble-t-il, a appliqué cette règle nous dit : ***« je trouve que c'est bien mais je ne vois pas le rapport entre des moutons et un capitaine! »***, il nous indique assez clairement qu'il réfléchit en classe et n'est pas du tout dénué de sens critique, mais qu'il sépare totalement le sens du résultat qu'il obtient par un travail dans le modèle de la classe « ici faire une simple addition ! » et la recherche de pertinence de ce modèle pour déterminer l'âge du capitaine dans la réalité.

Quand Paul dit un peu plus tard ***« c'est ta faute, tu ne m'as pas donné les bons nombres »***,

il explicite magistralement, nous semble-t-il, ce que son intériorisation du contrat didactique lui commande de faire en terme de partage des tâches et des responsabilités entre l'élève et le professeur :

- il conçoit son travail et sa responsabilité d'élève du cours de math comme ceux d'un « manar des chiffres » : son travail d'élève consiste alors à appliquer convenablement les techniques du modèle (ici faire une addition exacte) et pas à interpréter les résultats que fournissent ces techniques ;

- pour ***ce qui est du sens et de la pertinence*** du résultat obtenu ***c'est apparemment, de son point de vue, totalement la responsabilité du professeur*** : ***« si ce professeur veut que le calcul exact de l'addition qu'il suggère donne un résultat pertinent, il n'a qu'à ajuster***

les nombres qu'il fournit au réel auquel ce résultat se rapporte, et s'il ne le fait pas, il ne peut s'en prendre qu'à lui-même ! » semble-t-il nous dire très explicitement.

Nous tirons donc de cet exemple la conclusion suivante :

Le contrat didactique qui institue le maître comme étant celui qui sait ce qu'il faut savoir et pourquoi, et l'élève comme celui qui doit faire confiance en la vérité et la pertinence de ce que son professeur lui dit d'apprendre et de mettre en œuvre dans les exercices et problèmes ad hoc est un contrat :

– **d'un côté nécessaire** pour que le professeur puisse faire cours (le professeur ne doit pas avoir à justifier à chaque instant tout ce qu'il fait ou demande de faire !)

(mais simultanément un contrat)

– **très déresponsabilisant**⁴⁴ pour l'élève/l'étudiant vis-à-vis du sens et de la pertinence des démarches intellectuelles proposées par le professeur.

Dans tous les exemples qui vont suivre, on va pouvoir constater que ce déni de responsabilité intellectuelle qui apparaît de façon amusante et totalement caricaturale avec « l'âge du capitaine » se retrouve à tous les niveaux d'études (on pourrait dire de la maternelle à l'université) ; cela se reproduit de façon plus discrète et masquée en montant dans les niveaux d'étude, mais c'est néanmoins cette perte ou ce déni d'une bonne part de la responsabilité intellectuelle qui amène élèves, étudiants, voire professeurs quand ils sont en formation, à avoir par moments des comportements totalement aberrants vis-à-vis du sens et de la pertinence.

La question cruciale que Yves Chevallard⁴⁵ semble poser en filigrane à ce sujet est la suivante : ***cette perte de responsabilité intellectuelle de l'élève/étudiant induite par la très forte prégnance d'un nécessaire contrat didactique n'est-elle pas le prix à payer par une société pour se doter par l'école d'une culture commune ?***

Nous sommes bien conscients qu'on ne peut écarter cette question d'un simple revers de main au prétexte qu'y répondre positivement sans chercher à résister serait inacceptable sur un plan déontologique, puisque la réalité des classes et des amphis nous oblige à reconnaître que c'est cette réponse là que l'école accepte de donner majoritairement dans les faits, sans jamais bien entendu le reconnaître dans ses déclarations solennelles.⁴⁶

44 C'est là une des raisons essentielles pour lesquelles nous pensons que le professeur est obligé de renégocier un contrat didactique très différent s'il veut lancer un « débat scientifique » dans une classe ou un amphi, i.e. un débat qui puisse peu à peu être régi par une rationalité intellectuelle authentique : il s'agit d'un côté que l'élève/l'étudiant accepte d'entrer dans le jeu proposé par le professeur qui n'est pas le jeu de la vie extra scolaire, et néanmoins se sente à nouveau en charge d'exercer une effective responsabilité intellectuelle sur le sens et la pertinence alors que le contrat didactique habituel l'en désinvestit a priori (les « réfléchissez bien avant de répondre ! » du professeur ne suffisent absolument pas, semble-t-il, à amoindrir cette irresponsabilité institutionnelle naturelle).

45 Dans une publication interne de l'IREM de Marseille, « Remarque sur la notion de contrat didactique », Yves Chevallard analyse cette expérience de « l'âge du capitaine » de façon très voisine de celle que nous venons de donner ici, mais conclut par cette question cruciale qui va d'une certaine façon à l'encontre de la thèse que nous soutenons à partir de nos expérimentations sur le « débat scientifique à l'école ».

46 Répondre clairement par l'affirmative à cette question cruciale serait une provocation qui serait certainement jugée par presque tous ceux qui l'appliquent néanmoins au quotidien de leur enseignement comme proprement scandaleux ; c'est pourquoi, il nous semble, tous les beaux commentaires introductifs des programmes disent exactement le contraire et proclament haut et fort les exigences d'une démarche intellectuelle authentique, mais une fois ces déclarations de principes effectuées, ces mêmes commentaires de programme sont ensuite extrêmement restrictifs au niveau de ce qui sera évalué car chacun sait bien que ces belles recommandations épistémologiques risquent majoritairement de ne pas être suivies d'effets !

Pour nous l'expérimentation dans la durée et à tous les niveaux du « principe du débat scientifique en cours » est une façon de mettre en évidence qu'on n'est pas obligé de répondre systématiquement oui à cette question cruciale, même si c'est très difficile de dire non en pratique : nous avons la preuve **qu'un autre type de contrat didactique permet de redonner à une majorité d'élèves ou d'étudiants, au quotidien de l'enseignement, une part importante de la responsabilité intellectuelle que l'école lui confisque habituellement.**

Pour nous l'irresponsabilité intellectuelle que montre « L'âge du capitaine » menace tout enseignement scolaire à quelque niveau qu'on se place, mais... n'est absolument pas une fatalité.

Dans la troisième partie nous essayerons de montrer qu'il s'agit là en fait d'un véritable choix de société : à partir du moment où l'on sait qu'il est possible d'enseigner de façon beaucoup moins déresponsabilisante mais à un coût didactique beaucoup plus élevé, il vaut la peine, nous semble-t-il, pour la vigueur d'une démocratie d'envisager d'investir dans ce changement de contrat didactique car à notre avis **l'acceptation trop généralisée de cette perte de responsabilité intellectuelle à l'école a un coût éthique et social très élevé** (beaucoup trop élevé en terme de démocratie et d'humanisme s'il existe des alternatives crédibles qu'on se refuse d'exploiter par peur du changement et/ou un trop grand souci d'économie sur l'école).

La situation du « parallélogramme d'aire fixe » que nous présentons maintenant est, à notre sens, une formidable illustration de cette thèse (l'irresponsabilité intellectuelle de l'élève qui se manifeste dans l'âge du capitaine n'est pas le propre de l'école primaire : si on ne change pas de contrat didactique, on la retrouve pleine et entière à tous les niveaux - ici au niveau charnière lycée-université).

Cette situation montre également à quel point le contrat didactique dominant à l'école semble pousser une majorité d'élèves/étudiants à éluder totalement la quatrième étape d'une démarche intellectuelle authentique, i.e. la confrontation du modèle au réel qu'il tend en principe à représenter !

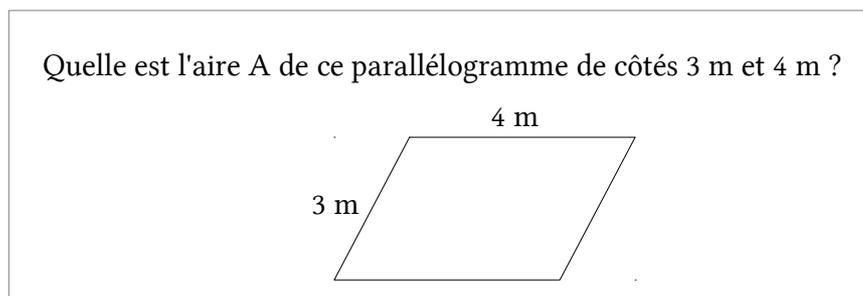


2) *Le parallélogramme d'aire figée en première année d'université ou l'absence de recherche des variables pertinentes*

De 1984 à 1990, suite à des modifications pédagogiques importantes effectuées sur la plupart des deux premières années d'université, nous avons mis en place à Grenoble en DEUG A (math, physique, chimie, informatique) quatre sections basées sur quatre types de pédagogies assez différents : dans la première section la pédagogie était basée sur le « débat scientifique », dans la seconde section la pédagogie était basée sur l'expérimental et les cours-TD, dans une troisième section la pédagogie s'appuyait fortement sur l'informatique, et dans une quatrième section la pédagogie était dans le style « classe prépa ».

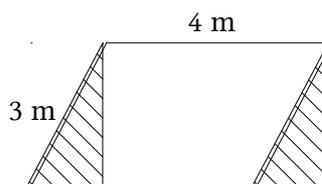
En vue de rendre le choix de ces étudiants sortant du bac plus rationnel que purement externe, nous avons organisé un petit test à l'entrée de l'université : les résultats de ce test, notamment en terme d'autonomie scientifique, nous permettaient de conseiller plus objectivement ces étudiants dans leur choix entre les diverses sections que nous leur propositions.

Dans ce test figuraient de façon mélangée des questions de math, de physique et de chimie et parmi celles-ci se trouvait la question iconoclaste suivante :

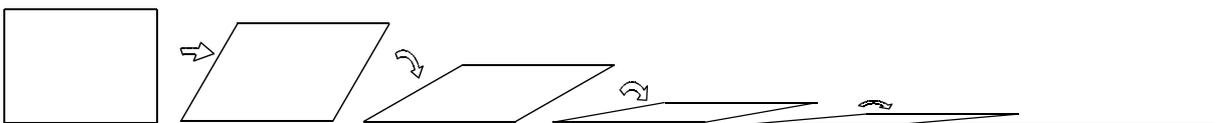


Quelle ne fut pas notre stupéfaction de constater que **plus de 50% de ces étudiants répondaient : $A = 12 \text{ m}^2$!!!**

Certains donnaient « spontanément » une « preuve » :



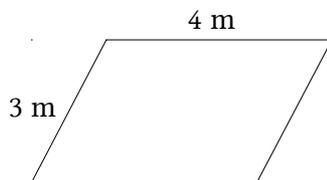
Rarissimes par contre furent ceux qui mettaient en évidence la variable « aplatissement » comme ici :



En fait, à chaque fois que nous avons par la suite posé (à Grenoble ou ailleurs) à des groupes d'élèves/étudiants (plusieurs milliers au total) la question :

« *quelle est l'aire A de ce parallélogramme de côtés 3 m et 4 m ?* »

en l'accompagnant de cette figure

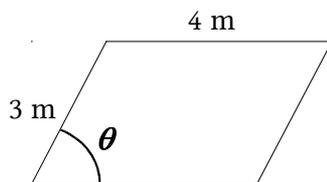


nous avons toujours constaté que plus de 50% répondaient : $A = 12 \text{ m}^2$!!!

Et nous avons remarqué ensuite que si on voulait obtenir « la bonne réponse ! », il suffisait de « bien poser la question », i.e. :

« *quelle est l'aire A de ce parallélogramme de côtés 3 m et 4 m ?* »

accompagnée de cette figure



Et là on obtenait majoritairement la réponse correcte $A = 12 \cdot \sin(\theta)$.

Première analyse de cette situation : l'irresponsabilité intellectuelle de l'élève n'est pas le propre de la petite école

La stabilité du phénomène que nous venons d'évoquer montre bien, il nous semble, que la position d'irresponsabilité intellectuelle à propos du sens et de la pertinence des actions que l'élève/étudiant effectue spontanément à l'école n'est pas le fait des seuls enfants du primaire.

Le phénomène d'irresponsabilité intellectuelle contractuelle (contrat didactique) que Paul nous révèle avec une très grande force en déclarant son fameux « *c'est ta faute, tu ne m'as pas donné les bons nombres !* » pour justifier sa réponse « absurde⁴⁷ » : « *j'ai vingt ans* », pourrait se transposer ici dans la bouche de ces étudiants qui ne supputent pas un instant que l'aire d'un parallélogramme dont les côtés ont des longueurs fixes puisse néanmoins varier jusqu'à tendre vers zéro si le parallélogramme se couche trop fortement (porte-partitions d'un piano), par une réaction du type « *c'est de votre faute... vous ne nous avez pas désigné les paramètres pertinents à prendre en compte dans le calcul de l'aire de ce parallélogramme!* »

⁴⁷ Paul sait que sa réponse est absurde en un certain sens, mais il trouve injuste qu'on le lui reproche puisque cette réponse est basée sur l'interprétation rationnelle qu'il donne à toute question « absurde ou non » du professeur du type « *tu as dix crayons dans chaque poche, quel âge as-tu?* » (il l'interprète comme une injonction du professeur à effectuer une tâche scolaire : ici faire des opérations exactes sur les nombres mis en jeu dans la situation). Cette irresponsabilité vis-à-vis du sens et de la pertinence est donc totalement assumée par Paul puisqu'elle fait partie intégrante du contrat didactique qui le lie au professeur.

Ces étudiants ne nous ont pas dit cela ici parce que l'organisation matérielle de ce test ne permettait pas de prolonger ce questionnaire par un débat, mais leur choix massif et stable de la formule rectangle - produit des longueurs des côtés - qui les pousse (avec souvent une « preuve » à l'appui) à donner une aire de 12 m^2 au parallélogramme qui leur est montré, nous laisse supposer que très rares sont les étudiants de ce niveau d'étude qui se sentent spontanément en responsabilité de tenter une action pour s'assurer que la formule qu'ils utilisent pour calculer une aire correspond bien à cette grandeur fondamentale de la vie courante qu'on appelle la surface d'un objet, par exemple la surface d'un terrain parallélépipédique⁴⁸.

Il semble que pour eux le concept d'aire d'une portion de plan soit bien davantage le résultat d'un calcul désigné par une formule à connaître (ici très simple et demain plus complexe avec l'intégrale), qu'une façon de mathématiser, de quantifier proprement ce que chacun tente d'estimer quand il prend en compte les dimensions linéaires du contour d'un objet plan pour évaluer son aire en terme de « quantité d'objets élémentaires qu'il faut juxtaposer pour le couvrir », par exemple estimer la plus ou moins grande quantité de carottes ou de fraises que l'on pourrait cultiver dans ce jardin potager parallélépipédique, suivant son inclinaison, ou pour évaluer approximativement la quantité de peinture qui serait nécessaire si l'on voulait peindre une face d'un tel objet parallélépipédique dont les longueurs des côtés sont données.

La démarche intellectuelle que ces élèves semblent avoir intériorisée au cours des très nombreuses années d'études qu'ils ont effectuées depuis l'école primaire ne les pousse pas apparemment à se poser les questions « cruciales en un certain sens » du type : « dans différents jardins ayant la forme d'un parallélogramme de côtés trois et quatre mètres, pourrait-on toujours cultiver (indépendamment de l'aspect inconfortable d'un jardin trop étroit) la même quantité de fraises ou de carottes suivant que ce jardin est un bon rectangle de côtés 3 m et 4 m ou que ce jardin se rétrécit beaucoup mais ne part pas à l'infini, puisque quelle que soit l'inclinaison on peut l'enfermer dans une bande rectangulaire d'au plus 7 mètres de long et de seulement quelques centimètres ou millimètres ou microns de large ? »

Au delà de cette première analyse épistémologique

Tout comme « l'âge du capitaine », cette situation du parallélogramme illustre bien, comme nous venons de le faire remarquer, l'irresponsabilité contractuelle que l'élève du primaire mais aussi l'étudiant de l'université manifeste dès qu'il est dans le cadre de l'école : cet étudiant semble être déchargé par un contrat didactique classique de l'essentiel de la responsabilité intellectuelle sur le sens et la pertinence, responsabilité qu'il considère comme étant peu ou prou le domaine réservé du professeur.

Nous pourrions en rester là au niveau de l'analyse de cette situation car elle nous paraît suffisamment parlante en soi pour révéler à elle seule avec force ce que nous tentons de dénoncer d'essentiel au niveau du peu de sens et de pertinence que les élèves/étudiants construisent à partir des enseignements monstatifs/normatifs classiques, mais - comme nous l'avons annoncé dans l'introduction de cette seconde partie - il nous semble utile d'exploiter dans un deuxième temps cette situation du parallélogramme⁴⁹ pour concrétiser ce que nous avons désigné précédemment de façon plus théorique et abstraite sous le vocable de « savoir

48 Nous retrouverons de façon très alarmante une attitude assez voisine avec des étudiants-professeurs en thèse de math ou de physique au sujet des « Procédures infinitésimales » (situation 8).

49 Comme nous le faisons dans les formations de professeurs du secondaire ou du supérieur que nous organisons.

externe/savoir interne », ou encore en terme de compréhension de premier ou de second niveau (sens profond), soit encore ce que nous avons appelé « démarche intellectuelle authentique » souhaitée (i.e. démarche intellectuelle envisagée comme un horizon dont la grande majorité des élèves/étudiants doivent pouvoir se rapprocher de façon significative même si elle ne s'impose pas à eux directement et est par essence d'accès difficile).

Complément d'analyse de cette situation du parallélogramme en terme de « savoir externe » et « savoir interne » et de « démarche intellectuelle authentique ».

Nous remarquons ici que lorsqu'on « pose bien la question », i.e. lorsqu'on explicite tous les paramètres à prendre en compte, une majorité d'élèves/étudiants donnent une réponse correcte qui n'est pas totalement évidente à fournir (il faut réfléchir un instant pour transformer le parallélogramme en un rectangle de même aire et savoir alors utiliser les lignes trigonométriques); cela prouve que ces étudiants ne sont pas des ignorants (comme on aurait tendance à le penser quand ils se précipitent « tous » sur la réponse « absurde » 12 m^2 , ils peuvent donc raisonner très correctement quand on les guide vers la bonne façon de regarder un problème.

Et c'est précisément cette aptitude générale de nos « bons élèves » à savoir « bien répondre » quand les questions les orientent vers la réponse correcte (aptitude positive qui rassure énormément les professeurs et les élèves/étudiants sur l'efficacité de l'enseignement) qui paradoxalement nous interpelle ici et nous conduit à remettre en question, non pas les élèves/étudiants dans leurs aptitudes propres à réfléchir sur le fond à de tels problèmes, mais la façon dont nous les avons instruits qui pousse ces élèves « intelligents » à investir leur force d'apprentissage *sur l'appropriation de savoirs à dominantes externes, i.e. de savoirs que beaucoup d'élèves vont pouvoir apprendre et réciter très correctement au moment de l'étude mais qui ne leur permettront pas ou très peu de prendre des initiatives pertinentes une fois la leçon achevée : essentiellement conçus pour être récités, ces savoirs externes ne seront probablement mobilisés par ces élèves dans l'action que s'ils sont « fléchés »* (i.e. il est expressément indiqué dans l'énoncé du problème que ce sont ces savoirs précis qu'il faut utiliser ici pour trouver une solution).

Dans ce cas précis du parallélogramme on perçoit donc que si l'enseignement qu'on prodigue vise l'acquisition du sens profond (celui qui permet de prendre des initiatives), *ce qui devient prioritaire au niveau épistémologique* quand on se pose la question : « *Quelle est l'aire de ce parallélogramme de côtés 3 mètres et 4 mètres ?* », ce n'est pas d'abord de trouver la formule exacte qui donnera l'aire du parallélogramme, c'est prioritairement *se poser la question de savoir si cette aire est déterminée par les paramètres explicitement désignés comme pertinents.*

L'essentiel en terme d'apprentissage au niveau épistémologique c'est donc que les élèves/étudiants arrivent à se construire des habitudes mentales qui leur permettent d'aller contre ou au delà du sens commun qui nous pousse instinctivement à ne prendre en compte que les grandeurs explicitement désignées (par exemple, apprendre à se poser des questions du genre : « *tout comme l'aire du triangle ne dépend que de la longueur d'une base et de la hauteur correspondante, est-ce qu'ici l'aire d'un parallélogramme ne dépend que de la longueur des côtés comme c'est le cas pour le rectangle ?* »)

Mais pour qu'une telle attitude scientifique : « recherche quasi instinctive de ce qui est fixe et de ce qui peut bouger, de ce qui est déterminé et de ce qui ne l'est pas dans une situation

donnée » devienne une sorte de réflexe, fasse partie de la culture d'une majorité d'élèves/étudiants, il faut absolument, nous le croyons, que l'étude de chaque nouveau savoir dans chaque discipline soit une occasion de transformer en profondeur ces sujets épistémiques dans cette direction.

Les transformer donc au sens où chaque étude particulière les pousse à porter un regard pertinent sur les situations qu'ils rencontrent non seulement quand ces dernières dévoilent leurs intentions didactiques (l'élève se dit que le professeur pose cette question pour l'obliger à mettre en œuvre le savoir qu'il vient de leur enseigner), mais aussi quand ces situations sont a-didactiques (i.e. quand la formulation des questions ne permet pas aux élèves/étudiants de savoir immédiatement s'il existe ou non un savoir ad hoc et lequel pour aborder convenablement cette situation).

Ici par exemple, on pourrait dire que l'étude de la géométrie des triangles effectuée dans le secondaire devrait avoir provoqué un premier changement de regard de ces étudiants sur la « rigidité » des figures polygonales (et par suite de façon concrète un autre regard sur la façon d'envisager une charpente susceptible de donner ou non une certaine rigidité aux bâtiments) : pressentir que toute figure géométrique non étayée par des triangles risque de se déformer énormément si on la soumet à des pressions externes et ce même si les longueurs des arêtes sont fixées.

Pour parvenir à bloquer une figure dont les angles ne sont pas fixés à l'avance, pour pouvoir la considérer comme indéformable, l'élève doit donc instinctivement (à force de s'approprier une culture scientifique) regarder si cette figure est suffisamment triangulée ou non ? (importance culturelle énorme du troisième cas d'égalité des triangles : *la longueur des trois côtés détermine les trois angles ...et... non réciproquement*).

Dès qu'un élève a effectué ce type de réflexion méta en faisant de la géométrie très élémentaire, le caractère hautement « déformable » d'un parallélogramme de côtés de longueur fixée devient quasiment évident pour lui s'il s'interroge à ce sujet !

L'étude méta de ce qui est invariant ou non dans les triangles devrait aussi provoquer d'autres changements de regard à propos du concept d'aire : par exemple remarquer que ce n'est pas parce qu'une figure se déforme que toutes ses grandeurs changent elles aussi. L'élève peut alors remarquer que si la somme des angles du triangle ne change pas même lorsqu'on le déforme énormément, son aire par contre se modifie probablement, à moins qu'on lui fasse subir des déformations dans lesquelles une base reste fixe lorsqu'il se « penche » de plus en plus sur cette base tout en gardant une hauteur fixe !

A partir de tels changements de regard issus de considérations méta sur les triangles, le changement d'attitude que des études scientifiques **devraient alors peu à peu provoquer chez la plupart des étudiants** quand on les questionne sur l'aire d'une figure précise devrait être ***celui d'aller assez spontanément vers la généralisation*** de la question particulière ; par exemple transformer la question particulière « quelle est l'aire de ce parallélogramme ? » en la question plus générale « *un parallélogramme peut-il se déformer en gardant des dimensions de côtés fixes ? son périmètre ne varie pas, mais qu'en est-il de son aire, se conserve-t-elle quand il se déforme ainsi ?* »

L'étudiant qui se transforme peu à peu par ces changements de regards successifs que provoque la recherche permanente du sens profond des savoirs qu'il étudie, rejoint alors de plus en plus « spontanément » le scientifique professionnel qui se pose en permanence la question *de savoir ce qui reste fixe et ce qui bouge quand un ou plusieurs*

paramètres varient, qui s'interroge à chaque instant sur ce qui est déterminé et ce qui ne l'est pas ? »

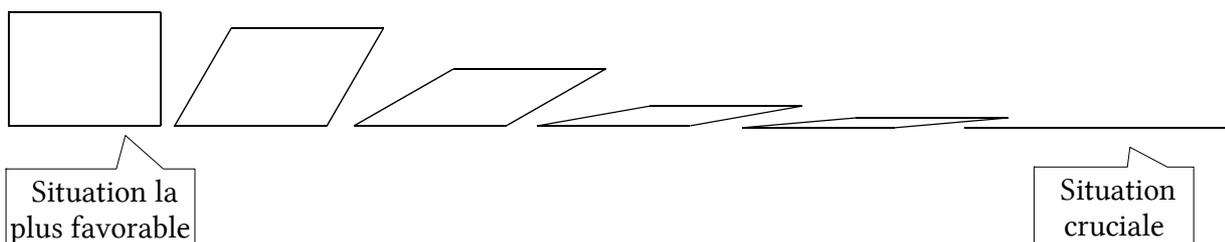
Le rapport avec l'initiation à une démarche intellectuelle authentique se conçoit assez bien ici :

Face à ce type de questionnement sur « ce qui est fixe » et « ce qui bouge », ce qui est déterminé et ce qui ne l'est pas, **la science** met en exergue une combinaison d'actions mentales que nous avons tendance à désigner comme des savoirs internes ou profonds :

- **1) La formulation d'une thèse généralisatrice de ce qu'on a tendance à considérer comme vrai tant qu'on reste au niveau d'un cas particulier : par exemple ici formuler la conjecture « tous les parallélogrammes ayant des côtés de même longueur ont la même aire ! »**
- **2) Cette thèse étant explicitement formulée, il est alors possible, à défaut de trouver immédiatement une preuve, de partir à la recherche d'un contre-exemple pour voir si on n'a pas été trop ambitieux dans la généralisation !**
- **3) Pour trouver plus aisément un éventuel contre-exemple « on pratique la caricature » ou encore « la recherche de situations cruciales ou extrêmes » qui ont plus de chances de falsifier de façon évidente une ou plusieurs conclusions de la thèse si elle est abusive.**

Ici, cet ensemble de pratiques scientifiques revient donc à commencer par « **affirmer que cette aire est fixe** » comme le suggère l'énoncé du problème, mais **au lieu de considérer que cette affirmation est vraie parce qu'elle est suggérée par l'énoncé et donc de prendre pour formule valide celle qui donne l'aire du rectangle, on change de point de vue par rapport aux pratiques sociales les plus répandues**, on regarde cette proposition comme une conjecture (i.e. comme une proposition qu'on pense vraie mais qui peut néanmoins être fausse) dont on cherche alors à tester la validité en envisageant immédiatement les déformations possibles et en poussant les choses à l'extrême pour voir si cette conjecture « tient ou non! ».

A partir de l'évocation mentale des déformations suivantes :

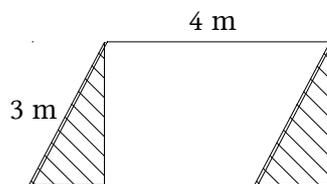


il devient très évident, quand on pousse à la caricature, que cette aire ne peut pas être fixe puisque d'un côté elle tend vers 12 cm^2 quand on s'approche du rectangle, et de l'autre vers 0 quand le parallélogramme s'aplatit.

En dernier ressort, si l'étudiant a repéré que les impressions visuelles cachent parfois des phénomènes très peu intuitifs (par exemple, la longueur de chemins qui se rapprochent uniformément d'un chemin fixe peut tendre vers l'infini et non vers la longueur du chemin limite), il peut utiliser pour se convaincre et convaincre autrui avec un très haut degré de certitude de la validité de ce que montre le dessin de la situation cruciale, la force des

majorations qui sont la clef de presque toutes les preuves en analyse : « *il est possible ici d'enfermer un parallélogramme de côtés 3 m et 4 m dans un rectangle de longueur 7 m (qui ne part donc pas à l'infini) et de largeur aussi petite que l'on veut, donc d'aire aussi petite que l'on veut !* »

Une fois donc que l'étudiant a pu écarter de son propre chef la thèse erronée implicitement suggérée par l'énoncé, une fois donc qu'il a exploité les attitudes scientifiques qu'il avait intériorisées les années précédentes pour prendre l'initiative d'écarter une question qui ne peut avoir le type de réponse que sa formulation suggère (initiative que l'élève citoyen pourra alors prendre dans la vie courante à chaque fois que cela lui paraîtra nécessaire, initiative qui nous semble essentielle puisque nécessaire au bon fonctionnement d'une démocratie), il n'est pas difficile pour cet étudiant d'apprendre à corroborer ses investigations qualitatives par l'obtention de résultats plus quantifiés, i.e. par une formule qui rende compte de la variabilité de l'aire qu'il avait pressentie.



Le parallélogramme proposé initialement regardé différemment par cet étudiant, i.e. en introduisant lui-même un paramètre angle pour rendre compte de la possibilité d'aplatissement ne le conduira plus alors à conclure que le parallélogramme de côtés 3 m et 4 m peut « miraculeusement » se transformer sans changer d'aire en un rectangle de mêmes dimensions comme certains l'ont fait spontanément, mais plutôt à conclure que ce rectangle aura une largeur ou une hauteur égale à la projection de l'hypoténuse et par suite que $A = 3 \cdot 4 \cdot \sin(\theta)$.

Ce que nous appelons savoir interne ici, c'est donc l'ensemble des différents changements de regards et d'attitudes que nous venons de lister, non pas en tant que savoirs bien compartimentés dans des cases/chapitres séparés et organisés pour être récités un par un quand on y fera explicitement appel, mais au contraire des savoirs interconnectés pour être spontanément mobilisables dans l'action, des savoirs qui peuvent plus facilement être exploités par l'élève/étudiant comme une culture s'il les a tous travaillés et appris dans une même perspective, dans un même état d'esprit : *tous ces savoirs distincts concourent à l'aider à comprendre la complexité/simplicité du monde et des situations.*

En guise de conclusion sur cette situation du parallélogramme

Un tel exemple montre, il nous semble, qu'initier une majorité d'élèves/étudiants à ce type de démarche intellectuelle authentique est à la fois tout à fait possible si cela se fait dans l'action et simultanément ne s'effectue jamais spontanément ; nous avons même de sérieuses raisons de penser que si un tel apprentissage de fond ne se présente pas a priori au professeur et progressivement à ses interlocuteurs élèves/étudiants comme étant l'essentiel de ce qu'il importe de retenir d'un enseignement donné, tant sur un plan épistémologique que sur un plan social et éthique, cet aspect déterminant de la profondeur des apprentissages scolaires a tendance à disparaître totalement de façon quasi automatique des préoccupations scolaires des uns et des autres car

c'est un apprentissage sur le long terme qui ne « paye pas » immédiatement et qui ne peut s'évaluer qu'indirectement.

Par exemple, dans un cas comme celui que nous évoquons ici, **si le professeur n'est pas sensible à cette distinction entre savoirs externes et savoirs internes**, au lieu d'interpréter les réponses majoritaires d'élèves automatés (qui ne tiennent compte ni du sens ni de la pertinence de ce qu'ils avancent) comme étant une conjonction d'indices fortement révélateurs d'une mauvaise compréhension non seulement d'un savoir précis sur le parallélogramme, mais aussi et peut-être surtout de l'absence d'intériorisation de la philosophie d'une démarche scientifique, **ce professeur aura tendance à traiter ce dysfonctionnement - quand il apparaîtra - de façon purement locale et technique.**

Ainsi, en corrigeant ce test, le professeur qui ne considérera pas l'apprentissage des démarches intellectuelles adaptées comme prioritaires ne verra probablement pas autre chose à la réponse massive $12m^2$ **que le signe indicateur d'une probable « mauvaise compréhension de la question posée ».**

Dans ces conditions, si ce professeur estime dans un réflexe normatif que c'est « LA QUESTION qui est MAL POSEE ! » au lieu de pousser plus loin l'investigation pour savoir s'il s'agit là d'une simple étourderie ou d'un problème de fond, ce professeur aura donc tendance à « réparer la question » plutôt qu'à sonder l'étendue du désastre, il la reformulera immédiatement pour qu'elle redevienne « normale » en introduisant explicitement le paramètre manquant : il rajoutera donc un petit détail, une petite précision (ici l'angle θ) et le tour sera joué !

En procédant ainsi, ce professeur gagnera bien entendu au niveau du temps passé à traiter ce dysfonctionnement et aussi au niveau de l'évaluation immédiate de sa réparation, car les réponses de ses élèves s'amélioreront très nettement sur le champ mais... ne va-t-il pas perdre énormément au niveau du contrôle de ce que la classe ou l'amphi comprend sur le fond puisqu'en rectifiant sa question il a perdu de fait un indicateur fort de non sens, de contresens, de vide de sens et/ou d'inconsistance épistémologique des savoirs réellement appris et intériorisés par la majorité des élèves/étudiants ?

Par un tel procédé le cours pourra donc se poursuivre... à un bon rythme, mais... en ayant totalement perdu de vue une priorité que l'école formule explicitement dans presque tous ses commentaires de programmes, de la maternelle à l'université, mais qui devient très vite lettre morte dans l'action quotidienne : la priorité **d'approfondir avec tous les élèves /étudiants et à propos de l'apprentissage de tout savoir, le sens d'une démarche intellectuelle authentique !**

3) Une activité en or ! (Au lycée)

Introduction

Parmi tous les types d'exercices destinés à être faits en classe comme à la maison, en vue d'un entraînement technique comme pour la découverte de nouvelles notions, le Graal du professeur n'est-il pas cette activité « en or » qui rend l'élève actif mais qui le cadre suffisamment pour lui permettre de découvrir, seul ou avec très peu d'aide externe, des nouveautés et lui facilite ainsi l'assimilation du cours qui devient alors pour lui « naturel et quasi évident » ?

Cette activité « miraculeuse », peut-on espérer la rencontrer, la fabriquer, la pratiquer en classe, ou bien n'est-elle qu'un leurre, un fantasme ?

Voici un exercice, extrait du manuel de mathématiques de seconde de Belin et emprunté à une évaluation nationale à l'entrée de seconde, qui a semblé à première lecture à Thomas Lecorre, membre de notre équipe de recherche et professeur de mathématiques au lycée, correspondre exactement à cette ambition : rendre l'élève actif, découvreur et co-bâtitseur de son propre savoir.

Voici l'exercice:

2. a. Calculer à la machine $a = 345678^2$ puis $b = 345676 \cdot 345680$.
Les nombres a et b sont-ils égaux ?⁵⁰
 - b. Vérifier cette conjecture en calculant, à la machine, le nombre $a - b$.⁵¹
Conclure.
3. a. Quelle valeur affiche la calculatrice pour le calcul de
 $A = 345678901^2 - 345678900 \cdot 345678902$?⁵²
 - b. Quel est le nombre des unités de 345678901^2 ?
Celui du nombre $345678900 \cdot 345678902$? Celui du nombre A ?
Le résultat fourni par la calculette est-il exact ?
 - c. x étant un nombre réel quelconque, développer l'expression $x^2 - (x-1)(x+1)$.
En posant $x = 345678901$, quel calcul fait-on en effectuant $x^2 - (x-1)(x+1)$?
Conclure sur la valeur exacte de A .
4. a. Quelle valeur affiche la calculatrice pour le calcul de
 $B = 34567890^2 - 34567889 \cdot 134567891$?⁵³
 - b. Quel devrait être le résultat ?

50 Sur la plupart des machines on trouve $a = b = 1,194932797E11$, ce qui semble être attendu par l'énoncé du problème : conjecture « $a = b$ », mais sur quelques machines plus performantes on trouve $a = 119\,493\,279\,684$, $b = 119\,493\,279\,680$.

51 Sur la plupart des machines on trouve $a - b = 4$ qui contredit la conjecture « $a = b$ ».

52 Sur la plupart des machines on trouve $A = 0$ mais sur certaines on trouve 1.

53 Sur pratiquement toutes les machines on trouve $B = 0$ mais sur certaines on trouve $B = 1$.

Quand Thomas a rapporté dans notre groupe de recherche ce qui s'était produit avec ses élèves de seconde, il nous a déclaré :

« cet exercice m'a plu (je n'avais pas envisagé le cas des machines très performantes qui ici calculent tout juste !) car il apparaît comme susceptible de provoquer de multiples apprentissages fondamentaux en plaçant l'élève face à des paradoxes et en lui donnant les moyens de les dépasser seul ».

Or en réalité rien de tel ne s'est produit avec cette classe, les élèves dans leur grande majorité n'ont ni vu, ni exploité les paradoxes et contradictions pour faire un pas en avant dans la démarche intellectuelle intéressante qui avait été finement organisée par les concepteurs de ce problème (nous allons voir un peu plus loin de quelle façon).

Devant ce fiasco face à une activité riche en potentialités cognitives nous avons essayé d'analyser ensemble les raisons de cet échec de la façon suivante :

Regardons de plus près pour voir

- d'abord comment cet exercice satisfait nos attentes « naturelles » de professeurs,
- ensuite comment des élèves réels d'une classe de seconde ont effectivement répondu à ces attentes.

Nous essayerons ensuite avec les lunettes plus critiques de la didactique de voir si on peut comprendre et anticiper les décalages constatés.

Cette analyse a permis à Thomas d'envisager un autre scénario pour traiter ce problème en classe sous forme de « débat scientifique », scénario que nous présenterons à la fin de l'exposé de cette situation et qui semble avoir permis à un beaucoup plus grand nombre d'élèves de cette classe de s'emparer du problème qu'ils n'avaient pas vu dans la version originale ci-dessus, version qui bien que très cadrée n'avait absolument pas suscité les positions d'apprentissage que « tout professeur » se met à espérer à la première lecture de cet exercice, tant il est à la fois original et néanmoins très classique.

A première lecture, les buts de cet exercice nous semblent être essentiellement :

- d'abord de faire découvrir à l'élève que si la calculette est un outil fiable dans les calculs élémentaires avec des nombres pas trop gros, elle peut nous induire en erreur en nous proposant systématiquement un affichage scientifique faussement exact dès que les nombres à traiter sont trop gros pour son calibre d'affichage et que de plus, quelle que soit sa puissance de calcul, elle finira toujours par faire des erreurs d'arrondis importants si on lui donne à traiter de trop gros nombres ;
- ensuite de montrer comment un petit raisonnement d'arithmétique élémentaire permet à lui seul de démasquer facilement ces insuffisances de la machine et prouve sans appel qu'elle se trompe, et comment le calcul algébrique permet alors de systématiser cette mise en évidence et cette preuve de l'erreur et donne en plus avec aisance le résultat exact qui avait échappé à une machine performante qui, bien que programmée par des humains compétents, ne peut comme un humain adapter les raisonnements qui y ont été programmés de façon pertinente dans un certain contexte, quand le contexte change !

- finalement le but ultime de cet exercice nous paraît être d'ordre « méta » (un peu prosélytique vis-à-vis du raisonnement mathématique) : il s'agit de démontrer à l'élève la supériorité dont il peut disposer sur une machine même assez sophistiquée s'il accepte de mettre en œuvre les raisonnements qu'il a appris en mathématiques.

Cette triple ambition fait de cet exercice une situation particulièrement riche puisqu'il devrait amener les élèves à être plus vigilants devant l'attitude de paresse intellectuelle qui nous guette tous et nous pousse à faire une confiance aveugle à ce qui nous est montré (affiché) au moyen d'une technique acceptée comme fiable par tous ; il devrait aussi « forcer » par la seule contrainte de la contradiction (et non par les injonctions magistrales) les réticences qu'ont beaucoup d'élèves devant tout raisonnement tant soit peu abstrait (ça ne sert à rien ! on n'en est pas capable ! etc).

Ici, ça vaut vraiment le coup de faire un petit raisonnement abstrait pas difficile ou un calcul algébrique bien connu pour se convaincre facilement des limites de la machine.

Enfin, bien que très ambitieux sur le fond, cet exercice paraît très raisonnable car le découpage des difficultés est tel qu'on peut espérer que la plupart des élèves ne caleront pas devant la difficulté et arriveront à le résoudre en grande partie seuls en développant ainsi leur autonomie.

Regardons donc d'un peu plus près comment s'articulent les différentes questions de l'exercice pour parvenir à cet équilibre.

Question 1

1. a. Calculer à la machine $a = 345678^2$ puis $b = 345676 \cdot 345680$.
Les nombres a et b sont-ils égaux ?

- b. Vérifier cette conjecture en calculant, à la machine, le nombre $a - b$.
Conclure.

Dans cette première question,

- si l'élève travaille avec une machine assez puissante, il va trouver $a \neq b$ et $a - b \neq 0$, ce qui va probablement renforcer sa conviction que la machine est un outil idéal qui permet de faire sans fatigue et sans erreurs des calculs qui seraient bien fastidieux à réaliser à la main (avec en plus une probabilité d'erreur non négligeable!) ;

- s'il travaille avec une machine moins puissante, il va tomber sur le paradoxe « d'un côté $a = b$ et de l'autre $a - b \neq 0$ », il devrait donc commencer à mettre en question l'idéologie dominante de supériorité d'une machine qui calcule toujours plus vite et plus exactement que l'homme.

Dans ce second cas, soit il comprend que l'écriture scientifique lui cache une partie des nombres a et b et donc que s'il est normal de conjecturer que $a = b$ comme lui suggère l'écriture de la machine, il n'est pas invraisemblable qu'un autre calcul qui ne fait plus intervenir cette écriture scientifique dise le contraire; soit il ne voit pas cela et alors, comme il ne peut résoudre seul le paradoxe qui surgit, il est normal de ne pas le laisser se bloquer là et de lui proposer tout de suite une nouvelle action (question 2. a.) qui soit sans rapport apparent avec ce qu'il vient de faire pour qu'il puisse poursuivre (les « bons » élèves savent qu'en cas de contradiction il ne

faut pas - si cela n'empêche pas de poursuivre - se poser trop de questions, car dans un exercice de math. c'est souvent après coup, quand tout est achevé, qu'on peut dépasser les paradoxes qu'on ne savait pas interpréter initialement).

Question 2

2. a. Quelle valeur affiche la calculatrice pour le calcul de

$$A = 345678901^2 - 345678900 \cdot 345678902 ?^{54}$$

b. Quel est le nombre des unités de 345678901^2 ?

Celui du nombre $345678900 \cdot 345678902$? Celui du nombre A ?

Le résultat fourni par la calculatrice est-il exact ?

Se basant sur une confiance aveugle en la machine renforcée par Q1 (ou pas suffisamment déstabilisée par Q1) l'élève va probablement prendre argent comptant le résultat $A = 0$ que lui donnera la calculatrice comme réponse au calcul de l'expression A (*sauf les quelques élèves mieux équipés, ce qui ne semble pas avoir été envisagé par les concepteurs du problème*).

Cette certitude en l'exactitude des résultats de la machine ayant été établie sans le moindre recours à un raisonnement mathématique, ***il s'agit donc maintenant de porter un coup très sévère à cette croyance et de faire accepter dans un même mouvement à l'élève et que la calculatrice peut commettre des « erreurs » grossières et que les maths sont le bon outil pour les débusquer et les rectifier.***

Les nombres sont bien choisis car grâce à la présence d'un zéro dans les unités, ***un raisonnement à la portée de tous*** sur le chiffre des unités de A démontre magistralement que A ne peut pas être égal à zéro et ***montre donc implacablement que la machine « s'est trompée » !***

Notre élève étant maintenant persuadé que sa machine « s'est trompée », il peut néanmoins ne pas être totalement déstabilisé par cet avatar ; il peut se dire qu'une fois n'est pas coutume ! que l'exception confirme la règle ! et qu'il s'agissait ici de calculs très particuliers.

On va donc lui montrer la force de la généralisation :

En imposant en sous-main à l'élève l'écriture algébrique ($x-1, x$ et $x+1$) de trois entiers consécutifs et en lui montrant qu'on peut simplifier l'expression $x^2 - (x-1)(x+1)$ par un simple développement remarquable, puis ***en lui imposant de remplacer x par le nombre qui posait problème*** (en posant $x = 345678901$) et en lui ***demandant alors de reconnaître*** que le calcul algébrique qu'il a pu trivialement simplifier en utilisant une identité remarquable correspond bien au calcul arithmétique qui posait plus de problème car lui ne se simplifiait pas de façon aussi évidente (quel calcul fait-on en effectuant $x^2 - (x-1)(x+1)$?), on donne au bout du compte à cet élève la capacité intellectuelle de se sentir apte à trancher seul le litige de façon totalement assurée en s'appuyant sur la seule force du calcul algébrique (« Conclure sur la valeur exacte de A ! »).

On pense donc que l'élève va non seulement pouvoir confirmer ce que l'arithmétique lui a montré mais qu'en plus il va pouvoir découvrir, s'il est un peu entreprenant, un procédé très général lui permettant de mettre en défaut toute calculatrice (si puissante soit-elle) dès qu'il

⁵⁴ Sur la plupart des machines on trouve $A = 0$ mais sur certaines on trouve 1.

choisira un entier x assez gros pour que l'écriture de son carré dépasse les capacités de stockage de la machine.

Il va donc pouvoir logiquement conclure à la supériorité incontestable du raisonnement mathématique sur la machine, et partant de là, se créer un appétit pour (ou renforcer son désir de) mieux comprendre et maîtriser le calcul algébrique.

Le scénario est donc parfaitement bien huilé puisque des questions simples et graduées guident l'élève dans la découverte des « dysfonctionnements » de la calculatrice et à l'opposé lui montrent dans l'action le bon fonctionnement du calcul algébrique.

Le souci de ne pas « perdre » certains élèves en route et par suite de laisser un maximum de travail autonome à la disposition de tous les élèves est particulièrement manifeste dans la question 2.c. qui présente aux élèves qui ne l'auraient pas vu, les rapprochements à effectuer : ***en particulier le rapport entre***

$$x^2 - (x-1)(x+1) \quad \text{et} \quad 345678901^2 - 345678900 \cdot 345678902$$

qui n'est pas si évident.

Ainsi peut-on être rassuré en donnant cet exercice à faire à la maison, car on est certain de donner à tous les élèves qui travaillent la possibilité de pouvoir le traiter sans aide externe et par suite d'en retirer les apprentissages escomptés.

Question 3

3. a. Quelle valeur affiche la calculatrice pour le calcul de

$$B = 34567890^2 - 34567889 \cdot 34567891 ?$$

b. Quel devrait être le résultat ?

Cette dernière question est d'ailleurs là pour valoriser auprès de l'élève qui a travaillé l'apprentissage qu'il vient d'effectuer : en effet, si notre élève a compris ce qu'il vient de faire, il va évaluer à la calculatrice cet énorme calcul mais maintenant il se méfiera avec raison de ses résultats pas toujours corrects pour les grands nombres.

Il pourra reconnaître une nouvelle occurrence de l'expression du 2.c et saura donc que l'on devrait obtenir 1 ; ***il peut maintenant anticiper sur l'erreur que la machine ne va pas manquer de commettre !***

Il peut donc en quelque sorte se moquer de cette machine toute puissante mais « idiote » ***car maintenant grâce aux mathématiques qu'il a apprises (ou réappprises autrement) il en est redevenu le maître !***

(Ceux qui ont des machines assez puissantes pour déjouer ce dernier piège n'auront - s'ils ont compris les enjeux du problème - qu'à augmenter encore le nombre de chiffres jusqu'à faire chuter leur machine !)

En voyant cet énoncé, telle est donc l'analyse positive que Thomas avait sommairement effectuée, ce qui l'avait poussé à le proposer comme devoir à la maison dans une classe de seconde tout à fait standard.

La réalité de la classe

Grande a été la surprise de Thomas et sévère sa déconvenue (raison pour laquelle il a immédiatement soumis l'aventure qui venait de lui arriver à l'analyse critique du groupe de

recherche) quand est arrivé le moment fatidique de lire la production de ses élèves, car devant l'étendue du désastre il s'est posé la question : « *Comment évaluer positivement le travail consciencieux effectué par beaucoup ? Quelle correction proposer qui ne soit pas humiliante et/ou désespérante pour toutes celles et tous ceux (les deux tiers) qui ont écrit « n'importe quoi ! » ?* » ?

De façon assez globale, les résultats ont été les suivants :

Plus des deux tiers de la classe passent complètement à côté du problème : soit ils constatent sans mot dire les contradictions $a = b$ à une question et $a \neq b$ à la question suivante, soit ils suppriment les contradictions (par erreur ou falsification ?), soit ils les soulignent mais, dans ce dernier cas, ou bien ils ne peuvent rien conclure ou bien ils concluent sans raisons « raisonnables », par exemple que c'est le dernier résultat obtenu qui est « le bon » !

Sur le petit tiers restant qui voit des contradictions et tente de les expliquer de façon plus rationnelle, certains - très peu - mettent le doigt soit sur le fait que l'écriture scientifique peut cacher une partie de la réalité d'un nombre, soit - plus nombreux - sur le fait que leur machine fait des arrondis, n'est pas assez précise pour effectuer ces gros calculs, soit ils soulignent ces deux phénomènes mais sans faire de lien entre eux.

Pour les quelques élèves qui ont une machine plus puissante que celles de leurs camarades, l'exercice devrait leur sembler en un sens stupide car sans contenu épistémologique, mais ils ne le disent pas, deux ont néanmoins remarqué qu'ils n'obtenaient pas les mêmes résultats que leurs camarades, ils notent alors en fin de copie que l'exercice change suivant la machine utilisée mais sans dire en quoi cela change.

En clair aucune copie ne semble répondre véritablement au schéma prévu dans la construction de ce problème : « l'apparition de paradoxes et contradictions devrait obliger l'élève à remettre en cause ses convictions ou ses pratiques erronées, l'aider à prendre conscience de la force et de la puissance du raisonnement mathématique et du calcul littéral, lui montrer de façon incontournable leur supériorité par rapport à un usage trop confiant et aveugle de la machine ».

Aucune copie ne paraît répondre à ce schéma car pratiquement tous les élèves - les « bons » comme les « mauvais » - semblent avoir cherché à traiter les questions une à une en les faisant le moins possible interagir les unes par rapport aux autres, même quand elles se contredisent fortement et que l'énoncé demande de réagir.

Quelques productions d'élèves :

En haut de la page suivante, la copie de Maud qui semble avoir fait sérieusement son travail, mais qui parvient à échapper (par erreur de calcul ou pour que « ça s'arrange ! » ???) aux contradictions majeures prévues par l'énoncé.

Cécile, elle, parvient en donnant une valeur particulière à x à éviter la contradiction que le calcul formel voulait rendre évidente :

Copie de Maud :

1a. $a = 345678^2 = 1,194938797 \times 10^{11}$
 $b = 345676 \times 345680 = 1,194938797 \times 10^{11}$

Les nombres a et b sont égaux.

b. Vérification de la conjecture $a = b$.
 $(1,194938797 \times 10^{11}) - (1,194938797 \times 10^{11})$
 $= 0$.

Exp: Donc, la conjecture $a = b$ est vraie car le résultat est égal à zéro donc il s'agit bien du même nombre, autrement dit $a = b$.

2.a. La valeur qu'affiche la calculatrice pour le calcul:
 $A = 345678901^2 - 345678900 \times 345678902$
est $A = 0$.

b. Le chiffre des unités du nombre 345678901^2 est: 1
Le chiffre des unités du nombre $345678900 \times 345678902$
est: 1
Le chiffre des unités du nombre $A = 0$.

Copie de Cécile :

2.c. $x =$ un nombre réel arbitraire
l'expression $x^2 - (x-1)(x+1)$
supposant que le nombre x vaut 345678901
, le résultat de l'expression se trouve est de :

$$= 345678901^2 - (345678901 - 1)(345678901 + 1)$$

$$= 1,194939026 \cdot 10^{17} - (345678900)(345678902)$$

$$= 1,194939026 \cdot 10^{17} - 345678900 \times 345678902$$

$$= 1,194939026 \cdot 10^{17} - 1,194939026 \cdot 10^{17}$$

$$= 0$$

Marion, elle, reconnaît qu'il y a un problème « le résultat *devrait* être 0 » mais cela n'engendre aucune réaction de rejet devant le comportement apparemment contradictoire de la machine.

III a) $B = 34567890^2 - 34567889 \times 34567891$
 $B = 10$

b) Le résultat devrait être 0 car 34567890^2 et 34567889×34567891 font $1,194939019 \times 10^{15}$.

Enfin, Maeva est à chaque instant d'accord avec tout ce que lui suggère sa machine même si celle-ci lui suggère coup sur coup deux conclusions opposées :

1.a) A la machine:
 $a = 345678^2 = 1,194932797e+11$
 $b = 345676 \times 345680 = 1,194932797e+11$

Ci les nombres a et b sont égaux.

b) En calculant, à la machine, le nombre $a - b$:
 $\rightarrow (345678^2) - (345676 \times 345680) = 4$
On trouve comme résultat 4, les deux nombres ne sont donc pas égaux.

Elsa qui avait une machine performante qui a toujours « bien calculé » jusqu'en 3.a. tombe brutalement sur un problème :

« 3a) la calculatrice affiche $B = 0$

b) le résultat devait être... je ne sais pas »

Thibaud qui n'a rencontré aucun problème avec sa Ti 89 écrit :

« j'ai fait cet exercice avec une Ti 89 et j'ai comparé avec un élève ayant une Graph 25, les résultats des calculatrices ne sont pas les mêmes et donc l'exercice change si l'on a une Graph 25 ou une Ti 89 ».

Ce qui semble le troubler ce n'est donc pas le « fait scientifique » que les résultats d'un même calcul changent avec une même machine et entre les machines, c'est plutôt le problème de « justice scolaire » : tous les élèves n'ont pas eu le même exercice à faire !

Ces quelques extraits sont « malheureusement » assez représentatifs de la mosaïque des réponses produites, réponses qui ne correspondent pas du tout, comme on peut le constater, au schéma de comportement que le texte de ce problème laissait prévoir.

La constante vraiment forte de ces réponses majoritaires est donc qu'elles ne s'insèrent jamais dans une problématique scientifique globale de recherche de cohérence et de non contradiction, mais correspondent à une manière de répondre question par question, soit sans faire de lien avec ce qui précède, soit en s'interdisant de manifester ce lien si cela fait apparaître une contradiction.

Questions cruciales

Comment expliquer un tel écart entre un scénario d'apparence robuste et des productions d'élèves aussi peu cohérentes ? Comment une démarche aussi cadrée conduit-elle à une divergence des réponses aussi importante ? Comment peut-on imaginer un apprentissage de la science sur des bases aussi peu scientifiques ?

Réaction immédiate naturelle du professeur évaluateur : note-sanction suivie d'une (ré)explication.

La réaction naturelle d'un professeur devant un tel fiasco est d'abord de se désespérer sur le niveau des élèves qu'on lui confie, puis se disant qu'il est là néanmoins pour les instruire et constatant une fois encore qu'ils n'ont « rien compris » au niveau des raisonnements de base, l'unique remède qui se présente à lui semble être, après avoir renvoyé avec force ses élèves à leurs réponses erronées (au moyen d'une correction sur feuille assez sèche et d'une note sévère), de leur (ré)expliquer tout ce qu'ils auraient dû comprendre depuis bien longtemps (au moins depuis la quatrième) et de leur montrer de façon détaillée ce qu'ils auraient dû faire.

Le début d'un doute sur la pertinence de ce choix didactique local !

Le problème c'est que nous avons tous réagi maintes fois comme cela, les professeurs qui ont eu nos élèves avant nous ont probablement fait ce que nous nous proposons de réaliser et leur ont certainement déjà donné à plusieurs reprises ces explications détaillées qu'ils n'appliquent toujours pas ; en tout cas l'expérience d'aujourd'hui montre que c'est un échec cuisant puisque deux tiers d'entre eux semblent n'avoir jamais rencontré puis surmonté ces difficultés !!!

Par suite, sans être immensément pessimiste, on peut prévoir que si nous expliquons à nouveau tout en détail aujourd'hui (comme nos coutumes didactiques nous poussent à le faire), apparemment *ils « comprendront » tout au moment même (ils ne se rebifferont pas, ils acquiesceront, certains diront même que c'est évident !) et ce sera néanmoins... probablement... un « coup pour rien ! »*

Un « coup pour rien » vu l'étendue et la profondeur du désastre, vu l'éloignement de la compréhension d'une démarche scientifique que la plupart des copies laisse entrevoir !

Au lieu donc de regarder comment corriger une à une ces erreurs, on peut s'interroger sur la signification du comportement local d'une majorité d'élèves en terme de (non) compréhension de la démarche intellectuelle globale.

Si maintenant on regarde cet exercice dans une perspective de recherche de la cohérence de la démarche intellectuelle mise en jeu ici, on s'aperçoit que le fiasco constaté en pratique était grandement prévisible.

Pour comprendre ce qui s'est passé, regardons de près l'activité proposée aux élèves et pour cela chaussons trois types de lunettes : d'abord des lunettes de type épistémologique, puis celles de la recherche d'une cohérence dans la démarche didactique adoptée et enfin celles de la recherche d'une cohérence dans la démarche scientifique proposée ici (démarche prônée et vue par beaucoup de professeurs de sciences et de math. en particulier comme un outil éducatif censé contribuer à former un citoyen responsable).

Si on regarde cette activité avec les lunettes de l'épistémologie, on peut observer que l'exercice repose sur deux principes forts sans lesquels l'élève n'a aucune chance de comprendre l'activité proposée⁵⁵ :

- **Premier principe : le principe de non contradiction** (qui se traduit ici par le fait que deux opérations valides effectuées pour évaluer une même grandeur ne doivent pas conduire à plusieurs résultats différents suivant la façon dont on s'y prend !) est un principe fondateur des sciences et en particulier des mathématiques.

Or, autant ce principe est devenu si naturel pour un mathématicien qu'il le décline instinctivement dans toute situation (en particulier dans toute démarche de preuve par l'absurde) et de ce fait a du mal à s'imaginer qu'on puisse raisonner sans, autant il apparaît chaque jour dans nos classes et nos amphis que pour l'élève un tel principe n'est ni une évidence, ni une nécessité.

Quand on organise un « débat scientifique » dans un cours de quelconque niveau d'études, on constate que ce principe n'est pas naturellement disponible dans une classe ou un amphi, c'est un principe à construire patiemment dès les premières années de l'école et à ré-décliner, à ré-enrichir à chaque instant tout au long des années d'études (y compris dans le supérieur) ; toutes nos expériences de « débat scientifique en cours » nous ont constamment rappelé qu'il ne faut surtout pas s'imaginer qu'une fois ce principe clairement exposé dans un chapitre de logique de la classe de quatrième et repris dans une déclaration liminaire de début de cours, l'affaire est entendue de tous (au moins des « bons élèves »).

Il nous semble que c'est un apprentissage permanent qu'il faut non pas refaire ex cathedra à chaque instant, mais plutôt approfondir/enrichir à chaque nouveau cours : au bout du compte c'est peut-être pour l'immense majorité de nos élèves/étudiants ce qui pourra leur rester de plus important de tous nos très nombreux enseignements de mathématiques, de plus constamment utile tout au long de leur vie en terme de culture scientifique.

Il y a, dans les copies d'élèves, le témoignage de deux types d'attitude face à ce principe qui prouve qu'il n'est pas encore agissant (et de très loin) pour la plupart d'entre eux :

- **Il y a ceux qui acceptent sans réaction les contradictions parce qu'ils semblent ne pas percevoir de contradictions**, par exemple répondent à une question « que $a = b$ » et à la question suivante « que $a \neq b$ » sans faire le moindre commentaire, laissant penser

⁵⁵ Ici comme à beaucoup d'endroits, ces principes sont spontanément considérés par l'enseignant comme acquis pour une majorité d'élèves ; tout au plus le professeur donne cet exercice en pensant qu'il va les renforcer et les rendre encore plus pertinents qu'ils ne le sont déjà pour une majorité de ses interlocuteurs. Or de toute évidence, il semble bien ici que ces principes ne sont absolument pas unanimement partagés, et même qu'ils ne sont partagés que par seulement une infime minorité d'entre eux et que cela participe largement au fiasco observé.

qu'il n'y a pas là pour eux de contradiction insupportable (*puisque les moyens de calculs sont différents, les résultats aussi ! puisque les questions sont différentes, les résultats portant sur les mêmes objets peuvent différer aussi !*)

- *Il y a ceux qui refusent d'envisager la moindre contradiction*, ce sont ceux qui soit réutilisent le premier résultat dans toutes les questions suivantes, soit considèrent que le dernier résultat est forcément « le bon », empêchant ainsi la contradiction prévue par l'énoncé de se produire.

La double attitude intellectuelle caractéristique du mathématicien face aux contradictions

Ces deux attitudes d'élève révèlent au professeur de mathématiques ce qu'il a tendance à oublier, tellement cela lui est devenu naturel, *sa double pratique en un sens paradoxale vis-à-vis des contradictions* :

- d'un côté il ne supporte pas les contradictions, c'est-à-dire que dès qu'elles se présentent, il veut en comprendre suffisamment les raisons pour les éliminer par dépassement ;
- d'un autre côté, il cherche à en produire pour démasquer des phénomènes subtils, par exemple pour montrer qu'un phénomène est impossible comme on le fait dans un raisonnement par l'absurde.

Sous cet éclairage on peut mieux comprendre le décalage énorme qui existe de fait entre le niveau apparent (très technique) des questions (*Quel est le nombre des unités de 345678901^2 ; calculer à la machine $a = 345678^2$, puis $345676 \cdot 345678$. Les nombres a et b sont-ils égaux ?...*) et le niveau (scientifique) requis pour envisager et tenter de dépasser les contradictions afférentes à ces simples manipulations techniques.

Si on ne suppose plus que ce qui est instinctif chez le mathématicien l'est aussi chez l'élève mais est à construire dans la durée, les réponses des élèves apparaissent, sous ce jour, beaucoup moins étonnantes (elles deviennent même logiques en un certain sens !)

- Le second principe qui donne sens à cet exercice pourrait se décrire comme le principe de « réalité de l'abstraction » !

En effet, quand on demande à l'élève d'évaluer le chiffre des unités d'un calcul pour le comparer à celui de la calculatrice, et de conclure ensuite, on suppose que l'élève est déjà convaincu de *la puissance de la pensée rationnelle et logique* et en particulier, en cas de contradiction, *tient pour plus pertinent le calcul « à la main » du seul chiffre des unités que celui du résultat tout entier à la calculatrice !*

De même quand un peu plus loin, on demande à l'élève de « *développer l'expression $x^2 - (x-1)(x+1)$... puis de.. Conclure sur la valeur exacte de A* », là encore cette façon de construire la situation présuppose que l'élève *dispose du calcul algébrique comme d'un outil sûr et plus convaincant que la capacité à calculer juste d'une calculatrice.*

Or, dans leurs réponses, les élèves semblent tenir la calculatrice comme plus fiable que leur propre capacité à développer une expression algébrique, et plus fiable que la capacité des expressions algébriques elles-mêmes, pour leur livrer des résultats particuliers évidents et crédibles : « *ce qui est vrai pour un x général n'est peut-être pas vrai pour un x particulier* » ont l'air de dire certains ; voilà jusqu'où peut aller le retournement de la compréhension de la démarche de généralisation propre aux mathématiques !

On comprend mieux alors que, contrairement à ce qu'espérait le professeur de mathématiques qui a construit cette activité dans une épistémologie de mathématicien, les contradictions fortes avec la calculatrice que les raisonnements formels qu'il suggère devraient engendrer, n'ont que très peu de chances d'aiguiller beaucoup d'élèves sur une remise en question du fonctionnement de leur machine.

Notre thèse est ici que tant que nous gardons les didactiques monstratives/normatives dominantes, il faut s'attendre à ce que pour une majorité d'élèves de seconde mais aussi de classes supérieures, y compris à l'université, nos raisonnements abstraits, en particulier nos calculs algébriques, soient des opérations intellectuelles qui doivent impérativement suivre en classe des règles strictes pour avoir une validité scolaire (être officiellement reconnues comme exactes par les enseignants de math.), mais cette validité formelle/scolaire n'est pas « réelle ». En tout cas, pour une majorité d'élèves/étudiants, ces raisonnements mathématiques formels ne confèrent pas aux résultats qu'ils établissent une validité supérieure à celle que leur donnerait le recours aux procédés de la vie courante même quand ils sont très peu contrôlés par une rationalité effective (par exemple, si le résultat obtenu formellement par un raisonnement mathématique entre en contradiction avec un moyen d'obtention qui réclame moins de réflexion - par exemple une calculatrice - c'est le procédé le plus pragmatique qui emportera leur conviction ; pour nombre de ces élèves le résultat formel sera « mathématiquement juste » mais néanmoins..., en pratique, il ne sera pas pris en compte s'il est contraire à celui de la calculatrice!)⁵⁶

Parenthèse sur cette situation en or

A l'appui de cette thèse, faisons une courte parenthèse en donnant un autre exemple très significatif de la non réalité - pour beaucoup d'élèves - d'un raisonnement abstrait.

La situation des radicaux

Avec ces élèves de seconde, Thomas avait fait quelque temps avant un travail pour leur apprendre à utiliser les fonctions de leur calculette ; voilà ce qu'il nous rapporte de cette situation :

- Je leur avais proposé pour finir cette prise en main des fonctions de leurs machines, de comparer à la calculette $\frac{1}{\sqrt{(4)}-\sqrt{(3)}}$ **et** $\sqrt{(4)}+\sqrt{(3)}$.
- On remarque que les résultats donnés à la calculette sont identiques, mais certains élèves refusent de conclure sans la totalité de la partie décimale.
- Une élève cependant affirme qu'il y a égalité en vertu d'une propriété : « $\frac{1}{(a-b)}=a+b$ » qu'elle justifiera par : « *diviser par un nombre, c'est multiplier par son inverse.* »
- Je propose cette propriété à la classe sous forme de conjecture en donnant l'espoir de la transformer en théorème. Vite la classe est convaincue de sa fausseté par des contre-

⁵⁶ On est toujours autour du « je fais court ou normal ! » de cette étudiante en sciences éco citée au début de ce livre !

exemples.

- Un élève propose alors de rectifier la propriété : « $\frac{1}{(\sqrt{(a)}-\sqrt{(b)})}=\sqrt{(a)}+\sqrt{(b)}$ »
- La nouvelle conjecture est mise en débat et elle est vite déclarée fautive suite à la production de contre-exemples.
- L'élève alors se ravise et propose :

Conjecture : « $\frac{1}{(\sqrt{(a)}-\sqrt{(b)})}=\sqrt{(a)}+\sqrt{(b)}$ avec a et b consécutifs et a le plus grand » .

- Les élèves se mettent tous d'accord sur cette propriété, mais dans la discussion, un élève explique qu'il change d'avis car avec $a = 4,8$ et $b = 4,9$ ça ne marche pas !
- Presque immédiatement, alors que dans un coin de la classe certains affirment que ce ne sont pas des nombres entiers, un autre dit que même avec les nombres entiers ça ne marche pas !
- Il propose comme contre-exemple :

$$\left\langle \frac{1}{(\sqrt{(100001)}-\sqrt{(100000)})} = 632,457064 \right\rangle$$

$$\text{et } \left\langle \sqrt{(100001)} + \sqrt{(100000)} = 632,457113 \right\rangle .$$

- Le professeur demande alors à la classe de chercher à situer « quels sont les exemples de cette conjecture et quels sont les contre-exemples ».
- Les élèves se mettent au travail et vingt minutes plus tard, on en discute. Le débat est très animé : certains affirment que « c'est pour les grands nombres qu'il y a une différence ! », d'autres expliquent que « plus un nombre est grand, plus la différence est grande ».
- La classe est presque d'accord sur le fait qu'en dessous de 10 000, il n'y a plus de différence. Mais certains restent convaincus qu'il y a une différence même pour les petits nombres (par exemple 3 et 2). Cette différence est invisible à la calculatrice, mais pour certains d'entre eux, bien réelle.
- Une élève va alors chercher les décimales « cachées » et explique qu'il y a bien une différence à la 13ème décimale !

L'heure d'après (j'avais initialement prévu que cela ne dure qu'une seule heure), je me sens obligé de « faire finir » cette situation :

- Je fais le résumé de ce qui s'est passé et leur explique que finalement ils ont utilisé leur calculatrice en permanence pour se faire une idée, mais que l'on pourrait aussi essayer de répondre en utilisant le calcul à la main.
- Ils sont étonnés de ma proposition : il s'agit de calculs de racines !
- **J'utilise alors le procédé magistral classique qui consiste à souffler la procédure à adopter pour que toutes les difficultés se résorbent comme par enchantement : je leur demande donc *comment, à la main, on compare habituellement deux fractions.***
- Une élève répond qu'il faut les mettre au même dénominateur.

- Je leur demande alors de le faire.
- Cinq minutes plus tard une élève le fait au tableau et « prouve » ainsi l'égalité.

Mais je sens bien un flottement : je demande alors aux élèves de se positionner :

« *Qui fait plus confiance aux résultats de la calculatrice ?* »

c'est-à-dire qui pense « différent » ?

« *Qui fait plus confiance au calcul littéral ?* »

c'est-à-dire qui pense « égal » ?

- À ma grande stupéfaction il y a alors autant d'élèves d'un côté que de l'autre avec une poignée d'indécis...
- Une discussion a lieu alors donnant tous les arguments pour trancher rationnellement, par exemple : *la calculatrice calcule avec un nombre fini de décimales, elle arrondit,.....*
- Mais *aucun de ces arguments ne parvient à convaincre définitivement* la totalité de ceux qui pensent que c'est différent et je vois même des élèves déclarer qu'ils changent d'avis et qui passent de la position « égal » à la position « différent » !

Et je finis alors par lâcher prise : je leur déclare que pour moi il n'y a pas de doutes car je suis convaincu que « c'est égal » par le calcul à la main qui est encore écrit au tableau, mais je vois bien aussi que tout le monde n'en est pas persuadé et que beaucoup estiment au contraire que c'est différent à cause des résultats que donnent leurs calculatrices.

Je leur dis alors que je pense qu'on ne va pas arriver à se convaincre tout de suite et que vu le temps passé sur cette affaire, il vaut mieux que chacun réfléchisse seul tranquillement à ce problème sur lequel on reviendra collectivement plus tard !

Je lâche le morceau car la situation me semble bloquée : on est arrivé à une impasse dont les termes sont explicites et incontournables.

J'interprète pour ma gouverne de professeur la « position calculatrice » comme une forme d'assujettissement à l'autorité technologique : certains élèves sont davantage convaincus par le « bras droit du professeur », la calculatrice, que par des calculs sur les radicaux.

Je dois me rendre à l'évidence qu'à cet instant, pour beaucoup de mes élèves de seconde, des calculs simples sur les radicaux simples sont plus opaques et bien moins crédibles que ceux de la calculatrice, donc en cas de conflit, sont moins fiables pour eux.

Je pourrais bien sûr mettre tout mon poids magistral pour emporter en force leur adhésion, mais que vais-je alors véritablement gagner en terme de compréhension d'une démarche scientifique ?

Ce que nous a appris la pratique du « débat scientifique », c'est que lorsqu'on tombe sur des résistances de cet ordre (obstacles épistémologiques) rien ne sert de vouloir emporter l'adhésion par la force en poussant l'élève/étudiant à se replier sur la position scolaire pour ne pas avoir d'ennuis.

Il vaut mieux, nous semble-t-il, affirmer sa propre conviction intime en tant que personne rationnelle, comme l'a fait Thomas ici, i.e. affirmer sa position non plus en tant que Maître garant de la vérité institutionnelle (obligeant alors l'élève à se soumettre à l'autorité du

professeur/évaluateur), mais en tant que personne propre ayant assisté au débat et ayant été convaincue par un des raisonnements proposé par un des protagonistes et soutenu par d'autres élèves/étudiants.

En effet, dans ce cas l'élève/étudiant non convaincu sur le champ ne sera pas obligé de se soumettre sans discussion avec lui-même au diktat du professeur ; quand il se retrouvera seul face à ce problème ou un problème analogue, il pourra par contre, s'il souhaite authentiquement comprendre, se poser la question de fond : ***pourquoi donc des pairs et ce professeur sont-ils si fortement convaincus par cet argument-ci, si opposés à cet argument-là, et moi pas du tout ?***

Un mûrissement de la propre pensée de cet élève/étudiant récalcitrant vers un changement de point de vue profond et durable est alors envisageable à partir d'un tel questionnement et infiniment souhaitable car dans ce cas d'évolution tardive, le changement a toutes chances d'être profond et pérenne car hautement circonstancié, alors qu'à l'inverse nous constatons à tout moment qu'une soumission rapide/docile à l'autorité magistrale n'engendre le plus souvent qu'une volte-face immédiate qui s'obtient en écartant la raison de la décision, retournement de conviction sans faire usage de la rationalité qui sera par suite très facilement suivi un peu plus tard d'une autre volte-face qui ramènera le sujet épistémique dans sa position initiale. Quand un préjugé a acquis une certaine stabilité, on ne le déstabilise pas par simple injonction (à la fin d'une leçon peu d'élèves/étudiants disent franchement le contraire de ce que leur professeur vient de leur expliquer en long, en large et en travers, mais... quelques mois plus tard..., ou immédiatement après, sur une situation presque identique mais un peu décalée, cela risque fort d'être une tout autre affaire !)

Thomas termine alors son récit par la réflexion personnelle suivante :

« Je réalise un peu mieux que tout l'enjeu de notre démarche tient là : comment faire que les éléments théoriques, la raison, le fruit de notre pensée, puissent donner peu à peu à nos élèves des certitudes aussi tangibles qu'un écran de calculatrice, qu'une parole « officielle » !

Revenons à notre étude initiale en regardant maintenant cette « activité en or » avec les lunettes de l'observation de la cohérence didactique du problème soumis à la réflexion des élèves.

Observation de la cohérence didactique du problème soumis aux élèves

Ces lunettes nous révèlent ***un paradoxe auquel l'élève doit faire face*** en permanence dans cette activité : d'un côté ***il devrait appréhender globalement*** le problème pour pouvoir trouver les raisons de ce qu'on cherche à lui faire dire, à lui faire comprendre, mais..., d'un autre côté..., ***l'énoncé le force constamment à revenir à une action locale et ponctuelle.***

Quand, par exemple, on demande à l'élève de calculer $a - b$ (question 1.b.) à la calculatrice, cette question peut lui apparaître sans lien avec ce qui précède car le projet de la question n'y est pas mentionné.

En effet qu'attend-on d'un élève qui tombe sur une telle question alors qu'il vient de conjecturer que $a = b$?

Normalement cet élève, s'il réfléchit un peu, doit se poser les questions :

« à quoi sert-il de calculer $a - b$?

Pourquoi $a - b$ devrait-il faire autre chose que 0 puisqu'on sait déjà que $a = b$?

Pour ne pas se retrouver bloqué par une exigence de cohérence intellectuelle propre, il devra donc :

- soit faire taire cette exigence intellectuelle en faisant une confiance aveugle dans la rationalité du projet de l'auteur de ce problème ; pour parvenir à faire ce qu'on lui demande, il devra alors pour calculer $a - b$ sans réticence décider de ne plus chercher à faire le lien avec le calcul précédent ;
- soit au contraire il ne fera pas ce qu'on lui demande (sans le dire) et répondra ce qu'il croit devoir répondre en le déclarant résultat d'un calcul qu'il n'aura pas effectué (ce que l'on trouve par exemple dans la première copie montrée, celle de Maud).

Découper pour simplifier ! Oui... mais ...

De façon générale, quand pour des raisons dites « didactiques » on découpe un problème en questions intermédiaires, c'est parce qu'on pense que le problème posé globalement sera trop difficile à résoudre, il faut bien voir alors que ***chaque question qui a du sens pour celui qui effectue le découpage*** (il a un projet global et cette question est la n^{ème} étape de ce projet) ***peut devenir totalement incongrue, inutile et/ou absurde pour celui qui n'a pas en tête le projet global*** (l'élève) qui ne peut alors faire ce qu'on lui demande qu'en étouffant momentanément son besoin de sens et de cohérence globale.

Ce qui apparaît clairement dans cette aventure de classe, c'est qu'en faisant vivre constamment l'élève (pour l'aider) dans des situations où ce questionnement personnel sur le pourquoi, cette prise de distance par rapport à l'action sont davantage une gêne qu'une aide, ***on le détourne de toute exigence et envie d'une compréhension globale !***

Ce qui est tout à fait paradoxal dans la façon dont ce problème est posé, c'est que :

- d'un côté, il est clair qu'***il ne peut fonctionner comme moyen d'apprentissage que si l'élève fait des liens*** entre les divers résultats obtenus par différents procédés, perçoit des contradictions, et les percevant, rétroagit : partant de ce qu'il peut considérer comme certain, il ose mettre en doute ce qu'il ne peut prouver !
- d'un autre côté, on voit que le problème est posé d'une telle façon qu'on ***décourage très souvent l'élève de chercher à faire le moindre lien*** de sa propre initiative (par exemple s'il fait un lien scientifique fort entre 1.a. et 1.b. , il ne fait pas comme on vient de l'expliquer ce qu'on lui demande : il ne calcule pas $a - b$ puisqu'il sait déjà que $a = b$).

En fait, si on regarde bien l'organisation de ce problème, on se rend compte que ce problème (comme la plupart des problèmes « bien posés » i.e. faits pour être réussis par tous) a été construit ***en faisant l'hypothèse que la plupart des élèves sont incapables de faire par eux-mêmes des liens pertinents.***

Par exemple, quand soudain on demande de « développer l'expression $x^2 - (x-1)(x+1)$ », on suggère en fait de formaliser ce qu'on vient de faire, mais on suppose tellement que notre élève ne va pas pouvoir s'en rendre compte, qu'on se sent obligé de rajouter une question supplémentaire : « En posant $x=345678901$, quel calcul fait-on en effectuant

$$x^2 - (x-1)(x+1) ? \gg.$$

On pourrait caricaturer ce geste en disant « *si tu agis comme nous te le suggérons en pensant à ta place, que penses-tu ?* »

Si en construisant un problème, on est en recherche de cohérence didactique, on doit donc choisir :

- ou bien on pense que notre élève est potentiellement capable de faire des liens et de produire quelque chose d'intéressant à partir du constat de contradictions, et alors il faut, d'une certaine façon, *s'interdire de le guider pas à pas.*

En effet, *si nous persistons dans cette didactique de guidage intégral par trop « bienveillante », nous devons accepter de reconnaître que nous vidons ainsi nous-mêmes* notre enseignement de sa consistance épistémologique potentielle, nous sommes en train de fabriquer un faux problème, un non problème au niveau épistémologique puisqu'il doit permettre à nos élèves/étudiants d'avancer sans jamais se prendre en main, il doit leur permettre de dire des choses justes sans savoir pourquoi, il doit leur permettre *de croire qu'ils pensent sans jamais avoir à penser la teneur de ce qu'il déclarent!*

Il devient alors évident qu'un tel problème va provoquer un échec total s'il se donne comme ambition de soulever des contradictions puisque dans sa forme il a constamment réclamé à l'élève de ne pas tenir compte de ce qui lui apparaissait comme des contradictions (pourquoi calculer $a - b$ quand on sait déjà que $a = b$!?)

En clair il nous faut trouver un moyen de leur « lâcher les baskets » sans pour autant les laisser seuls face à des problèmes épistémologiquement consistants, mais tellement peu didactifiés que pratiquement aucun élève/étudiant ne parviendra à avancer seul dans leur résolution.

- ou bien notre élève est jugé a priori incapable de tout cela (ce n'est pas notre hypothèse car toutes nos expérimentations prouvent le contraire), mais alors, par souci de cohérence didactique, pourquoi le mettre face à une suite de questions dont chacune en soi n'est porteuse d'aucun savoir (le vrai savoir ici est un savoir fort mais global qui n'émergera que des liens que l'élève fera et des contradictions que ces liens feront apparaître et qu'il ne décidera pas d'ignorer, i.e. un savoir qui n'émergera que d'une attitude intellectuelle dont on le considère a priori incapable).

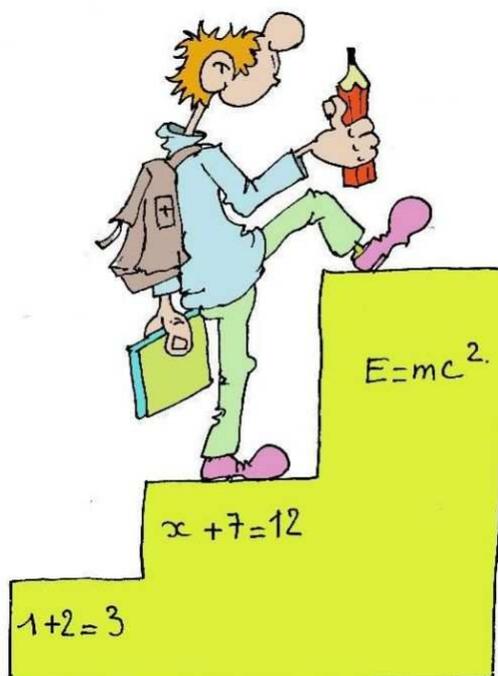
Si donc on regarde les enjeux épistémologiques de ce problème, on constate qu'ici comme ailleurs l'émergence d'un sens, la mise en lumière de l'essentiel reposent sur une capacité à faire des liens, à faire des *mises en ressemblance et en contraste de ce qui est le même et de ce qui est différent : tout le jeu du « même » et du « différent » qui se trouve autour de l'usage du symbole mathématique « = ».*

Si on se donne pour ambition de faire partager ces enjeux de fond à nos élèves, « on se doit donc » par souci de cohérence didactique :

- 1) de faire le pari qu'ils sont capables d'effectuer en partie ces liens par eux-mêmes,

- 2) **de s'interdire le morcellement du problème** en multiples questions et sous-questions qui vont empêcher l'élève de distinguer l'important de l'insignifiant, le général de l'anecdotique, et finalement le détourner de toute volonté de sens et de cohérence globale.

La contradiction majeure de ce scénario nous semble être que pour aménager un cheminement de la pensée fiable pour la majorité des élèves, on est conduit à poser une multitude de questions qui n'ont aucun sens pour elles-mêmes, mais seulement un sens en rapport avec une problématique globale dont on pense devoir priver l'élève dans un premier temps pour lui faciliter la tâche.



Le drame ici (comme c'est presque toujours le cas dans ce type de choix didactique) c'est que pour l'élève qui a échappé à tous les mécanismes de prise de sens local qu'on avait finement ciblés pour lui en découpant les tâches, le sens global (dont on l'a privé dans l'action pas à pas pour ne pas le perdre) n'apparaîtra pas non plus à la fin lui permettant de lancer un formidable Eureka ou d'écrire un significatif CQFD car, pour que cela arrive, il faudrait que se produise une rétroaction des actions entreprises sur une question, sur un problème, il faudrait que l'élève ait une problématique. Or ici il n'y a pour lui ni vraies questions, ni vrai problème et les actions qu'il a effectuées l'ont été pour lui dans l'incohérence ou l'insignifiance épistémologique (il les a menées non en suivant une rationalité mais parce qu'on lui demandait de le faire - éventuellement contre sa rationalité).

Une confusion entre but et moyens

Ce décalage entre un questionnement qui tient pour acquis par les élèves des principes très abstraits (non contradiction, réalisme et pertinence des formalismes, etc.) et qui réclame à ces mêmes élèves des actions qui restent en permanence à un niveau très élémentaire, ne témoigne-t-il pas d'une grande confusion entre but et moyens ?

Le but d'une grande partie de nos activités de résolution de problème n'est-il pas d'abord de développer la capacité de l'élève à entrer dans une démarche scientifique et en particulier de donner des occasions aux élèves de rendre consistant le monde des idées en les éprouvant, en réalisant leur efficacité et leurs limites ?

Si c'est bien là le but principal, les managements techniques étant vus comme à mettre au service de ce but, ne nous faut-il pas imaginer des processus didactiques qui nous permettent de dépasser par le haut l'incohérence qui apparaît dans la construction de ce problème :

- d'un côté « *supposer l'élève incapable d'agir au niveau de ce qu'on veut lui faire approfondir : les principes* »

- de l'autre « *tenir pour déjà acquis chez lui ces principes que l'on veut en fait développer* » ?

Terminons cette analyse en prenant les lunettes de la recherche d'une cohérence globale dans la démarche intellectuelle adoptée :

Ces lunettes-là nous obligent à poser la question de fond : « Quel rôle scientifique et social veut-on donner aux paradoxes et contradictions qui sont ici le moteur de l'activité? »

Dans la première question, on demande d'effectuer à la calculatrice le calcul de a et b et de les comparer. Ensuite on demande de calculer $a - b$ et de conclure. Ces deux manières de faire conduisent, si les machines ne sont pas trop performantes, à deux constats différents : l'un l'égalité des deux nombres, l'autre leur différence.

On peut se demander alors ce que peut signifier pour l'élève la consigne « conclure ! » car il n'a aucun moyen immédiat pour déterminer si $a=b$ ou si $a \neq b$, il peut juste dire que les résultats sont contradictoires (jusque là tout va bien sauf s'il a évité la contradiction en ne faisant pas le second calcul).

Mais alors ce qui est très étonnant dans l'organisation méticuleuse de la démarche de pensée de l'élève que cet énoncé impose, c'est que (contrairement aux règles de base de toute démarche scientifique) rien ne suggère ici à l'élève de chercher la raison de ce paradoxe (qui est, il est vrai, plutôt difficile à comprendre seul car interne à une machine dont on ignore le fonctionnement propre).

Dans la deuxième question on demande à nouveau à l'élève de calculer avec la calculatrice, puis on lui suggère d'utiliser un raisonnement mathématique pour mettre en défaut le résultat qu'il vient d'obtenir.

Le problème persistant du dysfonctionnement de la machine devient donc patent mais encore une fois, aucune recherche de cause n'est proposée!

Doit-on en conclure que cela n'est pas déterminant dans l'activité mathématique?

Cela nous conduit à nous interroger sur l'interprétation que l'élève va pouvoir faire de cet oubli systématique de la recherche des raisons des paradoxes et contradictions face auxquels le professeur l'a placé via cet exercice.

A l'opposé des déclarations officielles que les professeurs de science font très souvent (« *réfléchissez ! donnez des raisons, des explications !* »), **ne l'invite-t-on** pas implicitement ici en le lançant immédiatement dans une suite d'actions censées (contrat didactique) le mener vers la bonne réponse, **à prendre l'habitude** (pour rester performant) **de ne pas** « perdre son temps » **à chercher à comprendre le pourquoi des contradictions qu'il rencontre ?**

Ne va-t-on pas habituer l'élève qui veut être « bon élève » à abandonner très vite les questions personnelles qui le taraudent pour s'attacher à ne répondre qu'aux questions valorisées par le jeu scolaire et qui peuvent a priori lui paraître dérisoires sur un plan scientifique puisque sans aucun lien avec ce qu'il vient de constater ?

A l'opposé de nos déclarations ostentatoires sur les vertus de la science et des mathématiques dont l'enseignement contribuerait à former un citoyen plus responsable, plus capable de résister aux pressions de l'autorité par sa capacité de réflexion, ne sommes-nous pas en train au contraire dans l'action de susciter la docilité, voire de valoriser le fait de savoir faire taire ses insatisfactions intellectuelles ?

Quelles conséquences ce système de guidance qui interdit à l'élève de s'arrêter sur ses propres interrogations peut-il avoir sur la capacité de l'élève à entrer dans une démarche scientifique authentique, c'est-à-dire à se poser ses propres questions sur la nature des phénomènes observés et à tenter d'y répondre ? Et comment peut-il apprendre ce jeu de l'esprit si les meilleures occasions de formuler des hypothèses et de les vérifier sont simplement ignorées ?

En guise de première conclusion

Ces différentes façons d'analyser un tel exercice permettent après coup de mieux comprendre pourquoi il est assez normal que la plupart de nos élèves passent ici à côté des apprentissages essentiels.

Le fiasco qui s'est produit dans cette classe était donc assez prévisible car ***la didactique mise à l'œuvre ici est contradictoire avec le projet épistémologique*** : *il fallait que l'élève s'interroge, s'insurge contre une sorte de « réalité » absurde du type « $a \neq a$ », mais pour le faire avancer on l'a constamment invité au contraire à être docile, à répéter ce qu'il sait bien faire, à entrer en connivence avec les intentions voilées des questions.*

Certains élèves décryptent très bien ces sous-entendus des questions et savent donc parfaitement y répondre. Pour autant, ont-ils compris la nature des dysfonctionnements de la calculatrice, la force du calcul littéral, la nature des principes qui permettent de conclure avec certitude aux questions posées ? N'ont-ils pas joué un jeu beaucoup plus scolaire que scientifique ? N'y a-t-il pas simulacre de part et d'autre ? Et dans ce cas, sur quels apprentissages réels pouvons-nous tabler même chez ceux qui ont « bien répondu » ???

Après une telle critique, ***la question cruciale est alors : sur un sujet aussi important, une autre façon de poser le problème était-elle envisageable, possible ?***

Peut-on imaginer un scénario qui préserverait mieux l'essentiel : la réelle dévolution du problème garantissant la possibilité d'une authentique démarche scientifique de l'élève, la possibilité pour l'élève de toucher du doigt la puissance du calcul littéral et de mettre en doute les affirmations de la calculette en se fondant sur la force de ses propres convictions ?

Présentation d'une alternative à ce scénario a priori voué à l'échec

Thomas nous avait présenté cette situation après correction de ses copies car il avait du mal à imaginer comment réaliser une correction du problème en classe qui ne soit ni humiliante, ni culpabilisante, mais qui ne soit pas pour autant langue de bois en minimisant abusivement le comportement a-scientifique pour ne pas dire anti-scientifique qu'ils avaient manifesté dans leurs rédactions personnelles.

Partant de l'analyse précédente, Thomas a donc (re)présenté le problème à ses élèves un peu plus tard de la façon suivante :

- Il me semble que dans cet exercice on nous a proposé de travailler autour de l'idée suivante :
Idée : « A la place de calculer le carré d'un nombre, on peut tout aussi bien calculer le produit du suivant de ce nombre et son précédent, car la baisse de l'un est compensé par la hausse de l'autre. Dans les deux cas on obtient le même résultat. »
- A votre avis : « ***Est-ce une bonne idée, une idée qui marche ?*** »
- Rapidement la classe s'est mise d'accord sur la fausseté de l'assertion, avec plusieurs contre-exemples.
- J'ai alors proposé à la classe de ***résoudre la conjecture « contraire »*** suivante (puisque la précédente semblait n'avoir que des contre-exemples) :
Conjecture 1 : « Le carré d'un nombre n'est jamais égal au produit de son suivant par son précédent ».
- Et là je leur ai laissé du temps pour se faire une opinion, puis je les ai engagés à en débattre.
- Certains élèves ont déclaré cette conjecture vraie en utilisant les nombreux exemples encore notés au tableau.
- D'autres au contraire ont cherché des exemples cruciaux en prenant de grands nombres à la calculatrice et ont alors obtenu l'égalité, donc des contre-exemples à cette conjecture.
- Contre-exemples contestés par d'autres : la calculette fait des arrondis !
- Certains élèves ont observé que la différence était toujours de 1 et en ont fait la conjecture.
- J'ai alors proposé à la classe de résoudre la nouvelle conjecture :
Conjecture 2 : « Le carré d'un nombre dépasse de 1 le produit de son suivant par son précédent ».

Ce qui est apparu très positif dans le débat qui a suivi, c'est que certains élèves pensaient avec force que ces deux conjectures étaient vraies et d'autres avec autant d'assurance qu'elles étaient fausses, ce qui a obligé tout le monde (sans que je sois obligé de le demander explicitement) à un travail sur les arguments : pour quelles raisons la calculatrice peut-elle se tromper sur les grands nombres ? Pourquoi affirmer que la différence est toujours 1 si on ne le vérifie que sur quelques exemples ?

- Quand le débat s'est mis à tourner en rond, j'ai « poussé la classe » à trouver « ***l'idée de génie!*** » i.e. l'écriture « $n-1, n, n+1$ » de trois entiers successifs, et il n'a pas été trop difficile alors de se « persuader collectivement » par le calcul algébrique que cette différence serait toujours de 1.
- J'ai alors institutionnalisé ce travail en soulignant d'un côté ***la force du calcul littéral pour prouver de façon générale*** ce qui apparaît naturellement sur des cas particuliers, j'ai ensuite rappelé ***le principe de non contradiction*** qui fonde le travail scientifique.

J'ai alors insisté sur les précautions qu'il fallait prendre avec les machines pour ne pas déroger à ce principe : « *quelle que soit la puissance de la machine, elle aura toujours à un moment donné un problème de stockage de l'information qui l'obligera à faire des arrondis et par suite à écrire que deux nombres différents sont néanmoins pour elle égaux ou inversement que deux*

nombres égaux sont différents ».

Contrairement à ce qui se serait probablement passé si j'étais resté au niveau local de la correction question par question, j'ai eu le sentiment ici que la classe qui avait certes l'habitude du « débat scientifique » a spontanément mordu à l'hameçon scientifique.

Par suite l'institutionnalisation m'a été facile à faire et a été, il me semble, bien reçue par les élèves dans la mesure où précisément le débat qui avait précédé les avait « naturellement » placés face à un problème global qui obligeait chacun à affiner ses raisonnements (non pour satisfaire à ma demande de professeur) mais pour lutter contre les contradictions apportées par des pairs ; cela les a également poussés, je crois, à apprécier dans un deuxième temps mes raisonnements plus sophistiqués de prof dans la mesure où ceux-ci palliaient l'insuffisance des arguments qu'ils avaient su opposer à leurs pairs.

Pour conclure provisoirement sur cette « activité en or »

Au delà du constat d'irresponsabilité intellectuelle de l'élève qu'elle corrobore de façon spectaculaire, cette « activité en or » montre à quel point cette irresponsabilité intellectuelle de l'élève est bien moins le résultat d'une incapacité congénitale, d'un manque de maturité des élèves eux-mêmes, que la conséquence de certains choix didactiques (qui n'apparaissent pas spontanément aux professeurs comme des choix, tant ils sont monnaie courante dans l'école traditionnelle).

Ce qui nous semble clair aujourd'hui c'est que le problème épistémologique sous-jacent à cette « activité en or », s'il est présenté et géré en classe de façon assez globale et ouverte comme on vient de le suggérer, a beaucoup de chances de produire un comportement d'une majorité d'élèves assez voisin de celui qu'une lecture un peu trop rapide du problème laissait espérer.

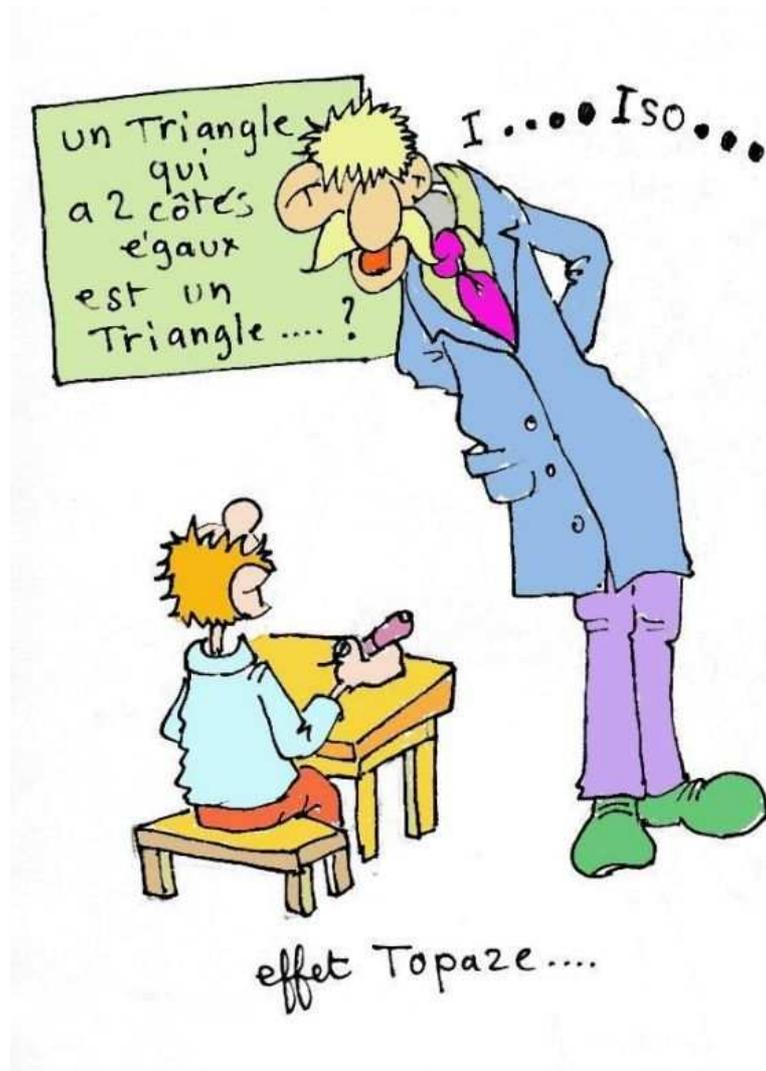
Il est clair aussi que si le professeur provoque un débat en classe en ouvrant les questions comme l'a fait Thomas au lieu de guider très fortement les élèves vers le constat attendu, il pourra d'autant plus facilement « gérer » cette ouverture aventureuse, qu'il aura effectué au préalable pour lui-même une analyse du type de celle que nous venons de proposer. En effet, pour tenir sa position paradoxale (laisser du doute dans la classe, laisser de l'initiative scientifique à ses élèves, ne pas donner trop vite « la solution » et néanmoins diriger la classe vers un apprentissage conséquent) il faudra qu'il ait au préalable :

- 1) bien repéré ce qui est essentiel à comprendre et à intérioriser ici, en particulier le ***principe de non contradiction*** et le ***principe de réalité des idées***,
- 2) fait ***le pari que ses élèves sont capables*** d'aller assez loin et profond par eux-mêmes dans ces deux domaines,
- 3) pris conscience que ***ses élèves*** (même les « bons », ceux qui répondent en général assez spontanément bien) ***n'ont certainement pas déjà compris et intériorisé tout cela !***

Nos recherches ont tendance à montrer que lorsqu'une telle analyse, à la fois épistémologique, didactique et sociale, est effectuée au préalable par le professeur, il se trouve de fait beaucoup plus à l'aise pour imaginer assez spontanément de telles situations de débat et les gérer avec souplesse, à-propos et autorité.

Nous essayerons de montrer dans les chapitres suivants, pourquoi il est assez naturel que dans

l'école actuelle des scénarios du type de celui qu'a imaginé Thomas aient très peu de chances d'émerger et de devenir des pratiques ordinaires de la classe (ils sont trop contraires aux principes épistémologiques, didactiques et socioculturels qui la dominent). Et nous essayerons d'expliquer pourquoi par contre il est très normal que « des activités en or » telles que celle que nous avons trouvée dans ce manuel soient monnaie courante, comme moyen sophistiqué mais standard (totalement inadapté si on en croit notre analyse) pour faire découvrir par la pratique aux élèves/étudiants ce qu'il serait bien difficile, il est vrai, de leur expliquer de façon plus théorique et formalisée.



4) La lune qui s'emballe en cours de physique à l'université !

Ou encore les équations qui nous font perdre la tête en première année d'université !

Nous sommes en milieu de première année à l'université dans un cours de physique : après avoir résolu le problème classique qui consiste à déterminer la période de révolution d'un satellite autour d'un attracteur, le professeur suggère de faire une application numérique de la théorie qu'il vient de développer magistralement.

Pour que cela soit parlant, il propose de prendre comme attracteur la terre et comme satellite la lune.

Après avoir entré les valeurs des paramètres terre et lune dans les formules qui viennent d'être établies par la théorie, on tombe alors (suite à une bête erreur de calcul) sur le résultat aberrant $3,8 \cdot 10^{-7}$ secondes : la lune tournerait autour de la terre plusieurs millions de fois par seconde !!!

Réaction de l'amphi...

Pas de réaction !!!

Pourquoi ???

Ils dorment tous ??

Non ils ne dorment pas, ce sont des étudiants studieux qui copient consciencieusement tout ce que le professeur écrit au tableau ; ils semblent seulement vivre hors d'une réelle préoccupation scientifique globale qui devrait les pousser instinctivement à confronter ce que semble prévoir la théorie à l'observation pragmatique qu'ils peuvent faire chaque jour (nuit) ou presque sur le temps que la lune met ou ne met pas pour traverser le ciel sous leurs yeux.

Mais voilà! le drame c'est que cette théorie, bien que physique, est dans le contrat didactique du cours magistral, « intouchable » par l'expérimentation car elle a été très sérieusement proposée par un professeur compétent, elle est basée sur le principe fondamental de la dynamique et de plus elle exploite bien les connaissances mathématiques apprises à propos des « équas dif. ».

Cette théorie physique énoncée en cours, bien que parlant de la terre et de la lune, ne semble donc pas pour ces étudiants faite pour parler du monde réel dont la physique se préoccupe.

Elle semble avoir - pour eux - une fonction beaucoup plus essentielle : elle doit être apprise pour être récitée. Il ne peut donc être question de confronter en cours de physique le fait ordinaire que la lune prenne tout son temps pour tourner autour de son attracteur terre et le résultat théorique qui semblerait indiquer que tout cela peut se faire en une très petite fraction de seconde.

Pour la quasi totalité des étudiants de cet amphi il n'y a pas immédiatement de contradiction forte ici, car chacun vit bien dans son monde, d'un côté la lune vit dans la réalité quotidienne à son rythme et sans avoir besoin de théorie pour parcourir son petit bonhomme de chemin, et de l'autre côté la théorie de la gravitation s'installe dans l'ensemble des savoirs qu'il faudra non pas confronter au réel dont ils parlent, mais seulement pouvoir réciter de façon académique le jour de l'examen !

Si vous pensez que nous exagérons en montant en épingle ce qu'on pourrait aussi considérer comme un petit moment d'inattention de cet amphi, nous avons malheureusement tout un stock d'observations tout aussi surprenantes sur la non confrontation permanente, entre théorie et pratique, d'élèves du lycée et d'étudiants généralistes de la fac, mais aussi d'élèves d'IUT, d'élèves d'écoles d'ingénieurs, de techniciens en formation d'ingénieurs, etc. (nous donnerons plus loin un autre exemple sur la perception par nos bacheliers scientifiques des dangers et des non dangers des effets du courant électrique que délivre une batterie⁵⁷ automobile de 12 V quand on la monte/démonte).

Dans l'exemple précédent (« activité en or ») de la classe de seconde placée face au paradoxe qu'introduisent les calculatrices, on a observé que lorsqu'il y a confrontation entre ce que produit un outil sophistiqué comme une calculette de qualité et notre propre raisonnement, en cas de désaccord c'est la calculette qui domine dans l'esprit des élèves.

Ici on voit que lorsqu'il y a possibilité de confrontation simple entre ce que produit une théorie scientifique et des faits avérés, les étudiants ne sont pas spontanément attirés par cette confrontation, et même lorsque pointe un désaccord manifeste, une majorité d'étudiants ne réagissent pas spontanément et semblent accepter une sorte de schizophrénie de la science qui d'un côté serait censée parler fidèlement du monde, mais qui d'un autre côté pourrait à certains moments le trahir très fortement (une déduction scientifique n'est pas pour ces étudiants à remettre en question - au minimum à suspecter d'erreur de calcul - si ce qu'elle prédit est en désaccord manifeste avec tout ce que l'on peut objectivement constater par ailleurs dans ce monde que la science est supposée étudier fidèlement).



On reste toujours dans ce constat d'irréalité, d'inefficience des démarches intellectuelles enseignées à l'école, démarches qui pour beaucoup d'élèves/étudiants n'ont d'autre cohérence à respecter que celle de rester en conformité absolue avec ce que l'institution déclarera comme évaluable/contrôlable dans les examens et concours.

On pourrait presque dire pour paraphraser certains commentaires de programme : « ***la confrontation entre théories scientifiques soigneusement étayées par des théories mathématiques valides et les expériences de vie quotidienne s'y rapportant est formellement hors programme !*** ».

Plus sérieusement cette situation montre bien, il nous semble, à quel point le contrat didactique dominant à l'école, contrat qui est à notre avis très voisin dans son esprit d'une matière à l'autre, pousse une majorité d'élèves/étudiants à éluder totalement en physique comme en mathématiques la quatrième étape d'une démarche intellectuelle authentique, i.e. la confrontation du modèle au réel (qu'il tend en principe à représenter très officiellement dans cette discipline) !

⁵⁷ Cet exemple sera repris et développé dans le tome II.

5) *L'interpolation toujours linéaire et la fausse rigueur en licence*

Cet exemple complète ce tableau un peu alarmant (en terme d'initiation à une démarche intellectuelle authentique) où il apparaît de façon criante que les résultats scientifiques que nous enseignons proprement à nos élèves/étudiants ne deviennent que très peu ou pas du tout des outils qu'il vont pouvoir utiliser scientifiquement pour établir ou réfuter d'autres résultats.

Nous sommes en train de travailler en cours de math. avec des étudiants de troisième année d'université sur une fonction numérique f qui ne possède a priori aucune autre qualité particulière que de prendre la valeur 2 en 1 : $\{f(1) = 2\}$, et la valeur 4 en 2 : $\{f(2) = 4\}$ et on se pose alors la question de savoir quelle peut être la valeur de cette fonction en 4.

La question est : « *que peut-on dire de $f(4)$?* » ou encore : « *$f(4) = ?$* »

A priori on peut attendre que la réponse d'un apprenti scientifique averti de ce niveau soit comme pour l'âge du capitaine de dire : « *je ne peux pas répondre!* » et on peut espérer qu'il vous explique spontanément : « *si vous ne précisez rien de plus sur la fonction f , je prétends « qu'on ne peut pas savoir ! » puisque rien ne contraint la valeur de f en 4 : toute valeur numérique est acceptable pour $f(4)$!* ».

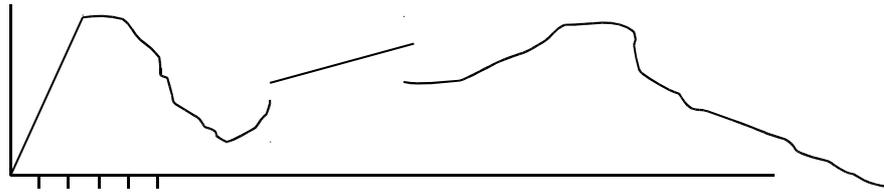
On serait donc en droit d'attendre ce type de réponse de la majorité des étudiants présents, puisqu'ils ne sont plus en CE1-CE2 et n'ont donc plus 7 ou 8 ans ! Oui mais... nous sommes à l'école et... à l'école, que ce soit la « petite école » ou l'université, le bon étudiant comme le bon élève doit connaître la réponse supposée attendue !

Par suite l'étudiant qui ne sait pas trop ce que le professeur attend derrière sa question un peu simpliste « *$f(4) = ?$* » sait par contre qu'il n'a pas intérêt à se démarquer du groupe par une intervention iconoclaste qui serait en un sens ridicule si, comme c'est souvent le cas en classe, tout le monde y compris le professeur sous-entendait évidemment qu'ici la réponse attendue est *$f(4) = 8$* puisque *$4 = 2 \cdot 2$* donc *$f(4) = 2 \cdot f(2)$* (c'est l'algorithme qui a été suggéré par la double précision initiale : *$f(1) = 2$* et *$f(2) = 4$*).

On ne peut dire à coup sûr que c'est ce mécanisme-là qui a fonctionné, mais ce que nous avons dû constater ce jour-là (et aussi dans un grand nombre de situations analogues et avec d'autres groupes d'élèves/étudiants) c'est que ce groupe d'étudiants, loin de se déclarer ignorant de la valeur de f en 4, s'est au contraire cru obligé de donner une valeur plausible à cette fonction f en 4 : « *$f(4) = 8$* » a été la réponse quasi unanime que le groupe a spontanément donnée sans la moindre réticence, alors qu'aucune hypothèse de linéarité n'avait été faite sur f !

Et quand le professeur a donné la parole aux quelques rares étudiants qui renâclaient à affirmer tout de go que « *$f(4) = 8$* », ces derniers ont eu beaucoup de mal à faire ressortir le fait que cette réponse catégorique « *$f(4) = 8$* » à laquelle ils avaient pensé eux aussi, reposait en réalité sur une hypothèse implicite (non faite explicitement ici) que *f était linéaire !*

Le professeur soulagé par cette intervention crut un instant que tout le monde en était convaincu ; il proposa alors, pour clore le débat, le dessin ci-dessous afin de bien montrer visuellement que si le graphe de f n'était pas une droite, tout devenait possible en 4, i.e. ailleurs qu'en 1 et en 2 !



Ce dessin provoquant une sorte de murmure réprobateur de l'amphi, le professeur se mit à questionner ses étudiants pour savoir ce qui les dérangeait.

Comme ces étudiants étaient polis, ils n'osaient pas dire tout net au prof : « *ce que vous faites là n'est pas très rigoureux !* » mais au fond d'eux il semble que c'est ce qu'ils pensaient réellement (vu ce qu'ils disaient indirectement).

En clair, pour beaucoup de ces étudiants, la fonction évoquée par ce dessin n'était pas une « vraie fonction », donc... ne prouvait rien, n'expliquait rien !

Pour que ce soit convaincant, le professeur aurait dû donner une « vraie fonction » à leurs yeux, i.e. donner une formule sur laquelle ils auraient pu faire un calcul de dérivée, puis faire un tableau de variation, puis enfin tracer un graphe.

Dans un premier temps le professeur marqua son étonnement devant cette exigence de « *fausse rigueur* », mais constatant que sa réaction étonnait sans convaincre, il se dit que plutôt que de vouloir leur faire partager en force l'idée que « *faire ici un tel dessin était une façon très rigoureuse de comprendre le problème* », il valait mieux qu'il aille d'abord sur leur terrain à ce niveau afin de garder assez d'énergies pour « enfoncer le clou » sur ce qui lui apparaissait comme le plus essentiel à mettre en évidence à ce moment-là sur un plan scientifique.

L'essentiel à son avis était de faire prendre conscience à tous que « *pour qu'une interpolation linéaire (donc une opération qui se base sur la proportionnalité des accroissements) ne soit pas « n'importe quoi », il faut au préalable pouvoir faire l'hypothèse que la fonction est affine ou « quasi affine » dans la zone où l'on effectue cette interpolation !* »

Le professeur problématisa donc la situation de la façon suivante :

« *Supposons que la fonction $f(x)$ que nous regardons, au lieu d'être linéaire (comme certains le supposaient sans le dire), soit un polynôme du second degré en la variable x ; est-il possible alors que $f(1) = 2$, $f(2) = 4$ et (par exemple) $f(4) = 36$?* »

La plupart des étudiants furent très surpris par cette question car ils n'avaient, semble-t-il, jamais regardé les fonctions sous l'angle (très fréquemment adopté en sciences) : « peut-on trouver une fonction d'un certain type prenant telle ou telle valeur particulière à tel ou tel endroit précis ? »

Il fallut alors plus d'une demi-heure de travail collectif organisé sous forme de « débat scientifique » pour que ces étudiants arrivent à **penser ce problème par eux-mêmes** et à se dire qu'ils disposaient ici d'assez de paramètres à choisir pour arriver à satisfaire l'ensemble des contraintes qu'on leur imposait.

Une bonne demi-heure pour que certains prennent l'initiative de « *poser $f(x) = ax^2 + bx + c$* » et pour penser à se dire que ces trois paramètres a , b et c étaient a priori

libres de toute contrainte mais qu'on pouvait peut-être les choisir de façon à satisfaire aux trois contraintes :

« $f(1) = 2, f(2) = 4$ et $f(4) = 36$ » qu'on avait imposées à la fonction f .

Donc une demi-heure pour transformer la question « *Existe-t-il une fonction f de tel type qui fasse... ?* » en « *Il suffit pour répondre de savoir résoudre un système de trois équations linéaires à trois inconnues !* ».

Il est clair que la plupart de ces étudiants auraient su résoudre ce problème seuls et correctement en moins de cinq minutes si au lieu de les placer face à une « vraie question », i.e. assez ouverte du type « *Existe-t-il une fonction f de tel type qui fasse ... ?* », on leur avait posé la « même » question de façon plus classique : « *Démontrez en résolvant un système de trois équations à trois inconnues qu'il existe un polynôme...* » ou de façon encore plus fermée :

Question 1) Résoudre le système linéaire :

$$\begin{cases} a + b + c = 2 \\ 4a + 2b + c = 4 \\ 16a + 4b + c = 36 \end{cases}$$

Question 2) En posant $P(x) = ax^2 + bx + c$ montrer qu'il existe un polynôme du second degré vérifiant...

c'est-à-dire si on leur avait « mâché » toute la partie proprement scientifique du travail.

Dans cet exemple, il nous semble qu'on voit assez bien que c'est la notion de rigueur scientifique qui n'est pas construite, ou pire qui est construite de façon inadéquate :

- d'un côté ces élèves font comme si toute fonction qui se comporte linéairement sur deux valeurs devait automatiquement se comporter linéairement partout !
- et d'un autre, ils rejettent un dessin qui explique clairement pourquoi cette interpolation linéaire n'est pas a priori valide : parce qu'un dessin « n'est pas rigoureux ! » à leurs yeux.

En fait, dans tout cet épisode on voit que le raisonnement, les calculs, la rigueur et les techniques scientifiques ne sont pas pour ces étudiants des outils au service de la résolution fiable et efficace de vrais problèmes ; ce sont des objets scolaires qui vivent dans des mondes séparés et qui n'ont comme vocation que d'être exécutés formellement aux endroits convenus (une fonction ça s'étudie en suivant certains rites, ça ne se construit pas pour satisfaire à certaines conditions ; un système d'équations, ça se résout avec des méthodes standard, ça ne s'introduit pas pour nous aider à répondre à un problème d'existence qu'on se poserait en dehors du cadre convenu des équations, etc. etc.).

On est donc toujours dans le cloisonnement des quatre étapes d'une démarche intellectuelle authentique ; non seulement les étudiants ne les relient pas spontanément entre elles de leur propre chef, mais de plus ils semblent reprocher au professeur de le faire si par « mégarde » ce dernier tend à vouloir explicitement mettre en synergie plusieurs de ces étapes.

Dans cet exemple nous voyons aussi qu'une gestion plus classique de la classe aurait probablement laissé dans l'ombre pour le professeur comme pour les étudiants l'étendue du malentendu qui règne ici à propos de cette démarche très scientifique qui consiste à interpoler,

i.e. à anticiper sur certains résultats à connaître mais difficiles d'accès direct à partir d'autres résultats connus et de certaines hypothèses de régularité.

Dans une gestion plus classique du cours le professeur qui pose ce type de question n'envisage pas a priori que cela pourrait l'em mener très loin ; le plus souvent une telle question a pour but principal de focaliser l'attention de ses interlocuteurs sur une erreur à ne pas commettre : il montre donc l'erreur, la désigne comme telle et insiste éventuellement sur le fait qu'il faut être vigilant pour éviter de la reproduire car tout pousse à la faire !

Une fois ces précisions données sans rencontrer la moindre résistance de la part de ses interlocuteurs, le professeur a alors tendance à estimer que pour l'essentiel, ce problème est définitivement réglé au moins pour les élèves/étudiants attentifs et de bon niveau.

Par exemple, si on part de l'hypothèse que ce professeur veut comme ici souligner le fait que « *lorsqu'une fonction f n'est pas supposée affine sur l'intervalle $[1, 4]$, on ne peut prétendre que $f(4) = 8$ dès lors qu'on sait que $f(1) = 2$ et $f(2) = 4$* », il va très probablement utiliser les procédés didactiques classiques que sont la monstration directe de l'erreur ou l'accompagnement très directif de la découverte de cette erreur.

Ainsi :

- soit il dessinera un graphe comme celui que nous avons proposé qui montre à l'évidence que tout est possible pour $f(4)$, mais ici comme les élèves/étudiants n'auront engagé aucune conviction personnelle, il n'y aura pas, sauf à souhaiter un affrontement direct avec le professeur, de réelles raisons et de vraies possibilités pour ses interlocuteurs de lui dire que « ce qu'il fait là n'est pas très rigoureux à leurs yeux ! » et ce même s'ils sont persuadés (puisque nombre de professeurs le leur ont dit en d'autres occasions) « qu'avec un dessin on ne prouve rien ! »
- soit il associera ses interlocuteurs à la découverte immédiate du fait surprenant « $f(4)$ peut être différent de 8 » en leur demandant de calculer $P(1)$, $P(2)$ et $P(4)$ pour le polynôme $P(x) = 14/3 \cdot x^2 - 12 \cdot x + 28/3$.

(S'il est très pressé, il donnera lui-même les résultats $P(1) = 2$, $P(2) = 4$ et $P(4) = 36$).

Dans les deux cas, ces étudiants accepteront facilement que la fonction f prenne une valeur très différente de 8 en 4 car ils recevront cette information comme le résultat d'un calcul et/ou comme la confirmation de ce que le professeur vient d'annoncer, donc comme quelque chose de « normal », et **non comme un choc en regard de ce qu'ils avaient prévu de différent eux-mêmes.**

Par ces choix monstatifs il n'y aura donc probablement ni désarroi devant une question dont beaucoup ne voient pas a priori la portée en terme d'estimation raisonnable d'une valeur inconnue, ni contestation forte de ce qui arrive une fois que l'on aura bien expliqué « *qu'on ne peut pas faire une telle estimation sans faire d'hypothèses sur la fonction étudiée* », puisque ces élèves/étudiants ne se seront pas véritablement posé la question de ce qui est possible ou pas en matière d'interpolation et n'auront donc pas pu anticiper/parier sur d'autres réponses que celles vers lesquelles le professeur les dirige.

Le professeur et la classe auront ainsi réglé ce problème en cinq minutes mais ***n'auront probablement eu aucune raison de prendre conscience de ce que le « débat » a fait surgir ici : d'un côté le malentendu profond qui existe éventuellement au sujet de la rigueur en science, de l'autre le vide total de problématique qui règne très probablement***

*pour la plupart des élèves/étudiants autour de tout ce qui concerne de près ou de loin ce savoir fondamental que représente « **le principe d'interpolation!** ».*

*Une fois encore on peut observer qu'**un savoir fondamental de la science comme le principe d'interpolation**, savoir qui peut de plus être pour chaque citoyen d'une **grande utilité pratique dans la vie ordinaire**, risque fort de se retourner contre un utilisateur qui l'aura étudié de façon trop scolaire et qui va probablement de ce fait l'exploiter comme une recette passe-partout lui fournissant des résultats apparemment très précis, mais éventuellement sans aucun rapport avec la réalité ainsi mathématisée.*

En effet, sans problématisation forte, sans s'être heurté à un conflit d'idées, il sera bien difficile à notre ancien élève/étudiant, une fois qu'il aura oublié les conseils de prudence que nous lui aurons généreusement prodigués tout au long de sa scolarité, de garder à l'esprit comme un réflexe de pensée le fait qu'en exploitant un algorithme d'interpolation linéaire sans même se poser la question de la régularité de la fonction qu'il considère, il prend délibérément le risque de produire un peu « n'importe quoi ! »

En fait la pauvreté épistémologique de ses apprentissages scolaires ne lui permettra pas de soupçonner qu'il prend un risque en interpolant linéairement les valeurs prises par une grandeur qui n'a aucune raison a priori de varier linéairement en fonction d'une autre, il ne se posera même pas la question de savoir s'il peut « faire court ou normal ! » comme dans l'anecdote que nous avons rapportée au début de ce livre : il fera « court » sans être conscient que le traitement « normal » de la réalité devrait éventuellement être beaucoup plus long pour éviter de « tordre totalement le cou » à cette réalité.

6) Le « jean » dont les bas de jambes ne pourront jamais sécher sans balayer le sol (avec des moniteurs en thèse)

a. Avertissement propre à la présentation de cette situation et à celle des procédures infinitésimales.

La présentation de cette situation (comme plus loin, celle des procédures infinitésimales) est un peu particulière dans la mesure où chacune d'elles aborde deux problèmes a priori bien distincts :

- *d'un côté, comme pour les autres situations, ces deux présentations tendent chacune à leur façon à mettre en exergue le peu de réalité que des théories et concepts très proprement enseignés à l'école peuvent néanmoins recouvrir pour la plupart des élèves/étudiants, même lorsqu'ils sont très avancés dans leurs études.*

En effet, ces deux situations font apparaître de façon criante le peu d'efficacité que des abstractions bien montrées dans un mode démonstratif et bien évaluées de façon normative ont au bout du compte sur le jugement et sur les décisions d'étudiants de niveau thèse lorsque ces derniers sont mis en présence d'un vrai problème réel, mais qui ne se présente pas directement à eux comme un problème scolaire (i.e comme un problème très fermé, placé en fin de chapitre et dans lequel par suite le « savoir théorique » à mettre en œuvre est explicitement désigné dans la formulation des questions posées et/ou par le titre même du chapitre dans lequel le problème est posé).

- *d'un autre côté, ces deux situations abordent un autre problème essentiel pour la formation des professeurs : le problème de la didactique de l'enseignement de la didactique.*

La question cruciale ou paradoxale que nous avons été amenés à nous poser à propos de la formation en didactique des jeunes professeurs et de la réflexion didactique avec les plus anciens est la suivante : *quand on envisage une transformation des conceptions et pratiques didactiques susceptibles de redonner une réalité et une efficacité aux théories et concepts, peut-on échapper à la contradiction systémique qui consiste (comme nous le faisons ici) à inviter un professeur à faire évoluer les pratiques didactiques qu'il a presque toujours rencontrées dans son cursus scolaire et universitaire (et qu'il reproduit donc assez naturellement), en utilisant principalement pour cela une didactique démonstrative/normative qui est précisément celle qu'on l'invite par ailleurs à remettre fortement en question ?*

Ainsi pour échapper à la contradiction systémique qui menace nos réflexions/formations avec des enseignants, nous nous sommes posés la question en un sens paradoxal : *puisque une réflexion didactique en groupe permet une interaction que l'écriture exclut a priori, ne serait-il pas possible d'exploiter le principe du « débat scientifique » en stage de formation des professeurs pour tenter de leur expliquer la nature et la fonction de ce même principe du « débat scientifique » dans une classe ou un amphithéâtre ?*

Cette question est en un sens paradoxal car le temps de la formation dans un stage est le plus souvent très/trop court pour pouvoir négocier véritablement un tel changement de contrat didactique et qui plus est, avec un groupe de professeurs qui de par leur statut supportent assez difficilement - surtout les plus anciens - d'être traités comme des élèves. De fait il est assez normal qu'un professeur en exercice (parfois depuis des années) ait du mal à

vivre des situations collectives qui montrent crûment qu'il est éventuellement passé à côté de l'essentiel sur des points fondamentaux de la discipline qu'il enseigne.

Plus encore que le statut de « bon élève », le statut de professeur monstratif ne donne pas ou très difficilement le droit a priori au sujet épistémique de se tromper énormément à propos de problèmes qu'il est censé savoir résoudre, mais à propos desquels il ne s'est jamais posé de questions cruciales dans la mesure où les solutions ad hoc lui ont été données avant même qu'il se pose la question de savoir s'il en existait. En fait ces bonnes solutions qui lui ont été si généreusement fournies sur un plateau en argent lui ont simultanément interdit de se tromper mais aussi de voir qu'elles ne correspondent pas du tout à celles qui lui tombent a priori sous le sens, à celles qu'il aurait spontanément données s'il avait d'abord cherché à résoudre le problème par lui-même.

La situation du jean, comme celle des procédures infinitésimales, tracent toutes les deux de façon différente une piste permettant d'échapper⁵⁸, il nous semble, à cette contradiction systémique qui guette toute réflexion/formation en didactique qui se donne pour objet d'exposer les ressorts d'un cours constructiviste ; nous vous les présentons donc en y adjoignant ce volet didactique de la didactique car elles sont pour nous des exemples significatifs de ce qui nous permet, à certains moments au moins, de conserver une certaine cohérence globale entre le dire et le faire dans les formations de professeur que nous organisons.

Ainsi, depuis plus de quinze ans, quand nous proposons à Grenoble ou à Orsay un stage de réflexion/formation sur le métier d'enseignant-chercheur aux thésards de toutes les disciplines qui s'initient (en vue de devenir des universitaires) simultanément à l'enseignement et à la recherche, nous procédons en deux temps :

- nous commençons par traiter avec eux (en alternant conférence-débat et travaux en groupes restreints) les problèmes d'ordre épistémologique, cognitif, psycho-affectif, socioculturel et éthique que nous abordons avec vous dans ce livre (i.e. nous abordons avec eux l'ensemble des problèmes didactiques que pose la transmission du sens profond des savoirs théoriques propres à chaque discipline et l'importance psychologique, sociale et éthique d'une plus ou moins grande maîtrise de ce sens profond par une masse critique de citoyens capables de prendre effectivement en charge la construction d'une société qui se veut réellement humaniste, républicaine et démocratique) ;
- nous leur donnons alors les raisons (théoriques du chapitre 3 de la première partie) qui nous poussent à penser qu'il est nécessaire, pour rétablir ce sens profond, d'alterner dans nos enseignements des phases magistrales où l'essentiel de la responsabilité intellectuelle est assumé par le professeur et des phases constructivistes où une bonne part de cette responsabilité intellectuelle est redonnée aux élèves/étudiants ;
- mais pour ne pas rester avec eux sur un discours trop théorique/dogmatique, pour ne pas leur laisser croire que ces pertes de sens généralisées qu'ils constatent eux aussi dès qu'ils commencent à enseigner (les moniteurs ont tous un service d'enseignement allégé) sont le seul fait d'étudiants faibles, manquant de moyens intellectuels ou travaillant très peu, nous proposons à ces moniteurs d'expérimenter sur eux-mêmes le

58 Échapper à cette contradiction au moins dans une rencontre in vivo au cours d'un stage, car dans une communication par écrit comme ici dans un livre nous devons reconnaître que nous n'avons pas vraiment su trouver d'alternative à ce mode *monstratif*/normatif comme mode d'exposition dominant !

principe du « débat scientifique » à partir de situations particulières comme le « jean » ou les « mises en équations infinitésimales », afin qu'ils voient de l'intérieur ce qui peut se passer en terme de construction du sens profond dans le groupe d'étudiants qu'ils constituent, et le type de déplacement de convictions qui peut se produire au cours de tels débats entre pairs.

Ces expérimentations du « débat » in vivo leur montrent généralement que ce principe est viable même lorsque le groupe est important (par moments plus d'une centaine) et très hétérogène (pour le « jean » sont réunis mathéux, physiciens, chimistes, informaticiens, mais aussi biologistes, littéraires, philosophes, juristes, etc.).

La situation du « jean » que nous présentons maintenant a l'avantage d'aborder des problèmes épistémologiques essentiels à propos des vecteurs en math. et des forces en physique tout en ne reposant que sur les notions théoriques les plus élémentaires que tous les élèves du secondaire « apprennent » au lycée, notions et concepts que les scientifiques continuent à manipuler quotidiennement à l'université un peu comme « deux et deux font quatre » (ils devraient donc exceller face à ce type de problème).

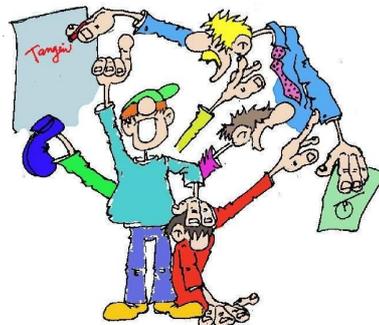
Une telle situation faite initialement pour travailler avec les élèves des concepts de base de math et de physique peut ainsi être également un outil pour travailler les concepts de la didactique avec un très large public de professeurs car elle leur permet d'analyser concrètement de l'intérieur ce qui manque d'essentiel dans un cours monstratif et qu'un cours plus constructiviste peut effectivement prendre en charge (la situation infinitésimale va dans le même sens et montre des carences encore plus surprenantes - de notre point de vue conséquentes à un enseignement trop monstratif - mais elle n'est malheureusement accessible au niveau épistémologique qu'à un public plus spécialisé en math et physique).

b. Déroulement de la situation.

Les règles du débat sont présentées à ces moniteurs à partir de la diapo suivante :

Les règles du « débat scientifique »

- 1^{ère} phase = **débat privé** (quelques minutes)
vous pouvez discuter (du sujet) **avec qui vous voulez...**
dans le but de vous forger une **opinion personnelle**
 - un **vote**
vous vous déterminez **personnellement** en fonction des réponses proposées,
en étant **capable de justifier votre choix**
 - 2^{ème} phase = **débat public**
vous **défendez votre point de vue**
en donnant vos arguments à vos collègues (et non à moi), pour les **convaincre**.
- Le **débat privé** est alors **interdit**,
tout comme la critique non construc



Une fois ces règles très sommairement commentées, la situation du jean est la suivante :

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, le poids T qu'il faut accrocher derrière la poulie pour maintenir ce jean dans la position ci-dessus (le fil est assez tendu pour que le jean ne risque pas de traîner au sol) est environ de :

1,5 kg	3 kg	6 kg	20 kg	40 kg	100 kg	?

(Cochez la valeur qui vous semble la mieux adaptée, ni trop, ni trop peu !)

En projetant la diapo du « jean », le professeur fait les commentaires suivants :

Vous souhaitez faire sécher ce jean d'environ 3 kg placé au centre d'un étendage classique de jardin, le fil doit être assez tendu comme le montre le dessin pour que le pantalon ne risque pas de toucher le sol même si les jambes sont longues.

Les seules différences entre cette présentation de l'étendage et un étendage de jardin classique sont qu'ici, pour simplifier votre réflexion sur le problème, on ne suspend qu'un seul vêtement que l'on met à sécher à peu près au milieu du fil, et qu'au lieu d'attacher le fil sur chacun des deux poteaux on ajoute une poulie et un contrepoids d'un côté afin de matérialiser plus concrètement la notion de tension approximative du fil sur laquelle on vous demande de vous faire rapidement une opinion la plus rationnelle possible.

Comme cette poulie est bien graissée et tourne très librement sans offrir la moindre résistance, on conviendra que le poids de la masse T représente bien la tension du fil.

Imaginez alors que vous êtes dans un magasin où sont vendus différents fils dont les tensions de rupture sont celles qui sont indiquées ci-dessus ; bien évidemment plus la tension de rupture est forte, plus le prix du fil est élevé.

Dans cinq minutes il faut que vous preniez une décision « cruciale » :

« Quel fil dois-je acheter pour réaliser au meilleur prix un étendage fiable semblable à celui qui figure sur ce dessin ? »

Discutez de tout cela avec voisin/voisine pour vous faire une opinion personnelle raisonnable, pour des raisons d'économie ne proposez donc pas d'acheter un fil résistant à 100 kg si vous pensez que celui qui résiste à 3 kg suffit, mais ne faites pas pour autant de fausses

économies en prenant par exemple un contrepoids de 1,5 kg si vous pensez qu'avec un tel contrepoids le jean risque fortement de traîner au sol !

*A vous d'estimer ce qui vous semble le plus raisonnable « **ni trop, ni trop peu !** ».*

Une fois ce commentaire effectué, le professeur se tait et se montre très discret pour laisser les petits groupes de discussion se former spontanément et échanger très librement (sans craindre de dire une grosse bêtise) les idées qui leur viennent assez spontanément à l'esprit.

Les cinq minutes qui suivent marquent toujours une montée en puissance considérable du volume et de la vivacité des échanges privés entre pairs, souvent accompagnés de grands gestes explicatifs et il faut un peu d'autorité au meneur de jeu pour rétablir au bout de cinq à dix minutes un silence adapté au vote.

Pendant le vote, il est rappelé que les commentaires sont interdits et que le débat s'engagera après ; le professeur fait alors un décompte à la louche des mains levées quand elles sont nombreuses et marque par exemple $\frac{2}{3}$ Amphi plutôt que 71 ± 6 pour indiquer qu'environ les $\frac{2}{3}$ des participants ont levé la main sur ce choix.

Pour organiser ce vote le professeur passe en revue les différents choix de tension en commençant par demander à ceux qui estiment que la tension la plus raisonnable est environ 1,5 kg de lever le doigt, puis il fait le décompte pour 3 kg, 6 kg... etc ; les résultats de ce vote sont transcrits sur le tableau de façon à rester aux vues de tous.

Ne nous étant pas placés dans une perspective de publication de résultats expérimentaux, nous n'avons pas fait un relevé statistique extrêmement précis des résultats des différents votes qui ont été produits au cours de la trentaine de reproductions de ce scénario avec des groupes de moniteurs allant de 50 à 180 participants et comportant toujours une très forte majorité de scientifiques « durs » et une bonne proportion de normaliens ou de polytechniciens, mais nous pouvons garantir que ces résultats sont extrêmement stables et qu'aucun d'entre eux ne s'est jamais écarté fortement des résultats suivants :

1,5 kg	3 kg	6 kg	20 kg	50 kg	100 kg	?
Environ 25%	Environ 20%	Environ 20%	jamais > 10%	Jamais > 5%	1,00%	Environ 20%

Suite à un tel vote, un débat passionné s'engage assez facilement, débat dans lequel les défenseurs des choix « **la tension est de l'ordre de grandeur du poids suspendu** », donc les choix 1,5 kg, 3 kg et 6 kg, tiennent le haut du pavé :

1,5 kg

- *car il y a deux fils : $1,5 + 1,5 = 3$*
- *ou parce que les poulies, les palans, ça facilite les choses !*
- *certains proposent de retirer le deuxième poteau (celui qui est sans poulie), d'accrocher le jean sur la ficelle : on voit alors que puisque la poulie n'offre pas de résistance, l'équilibre est obtenu en mettant 3 kg de chaque côté. Par suite, si on remet le deuxième poteau on ajoute une aide (comme lorsqu'on porte à deux un sac à deux poignées), **donc** la tension n'est peut-être pas la moitié du poids du jean car « ça va en biais », mais « elle est sûrement moins de 3kg ! »*

On constate ici que tous ces raisonnements inadaptés sont loin d'être dénués de réflexion et d'ailleurs ils font mouche car cela fait souvent changer d'avis un certain nombre de ceux qui avaient choisi 6 kg et qui déclarent passer à 3 kg ou même à 1,5 kg !

3 kg ou 6 kg

Ces choix sont souvent défendus avec des arguments semblables aux précédents, mais avec en plus un désir de « bon père de famille » : on en met un peu plus que le strict nécessaire car **comme cela on est absolument certain que ça marchera !** (les défenseurs de ces choix ne contredisent pas violemment la thèse naïve erronée évoquée pour 1,5 kg : « *les forces s'ajoutent comme les nombres, plus on en met, plus on est fort, donc $1,5 + 1,5 = 3$!* » ; ils ajoutent seulement quelques précautions supplémentaires).

20 - 40 - 100 kg

Ces choix sont souvent défendus par des personnes qui ont intériorisé la spécificité de la somme de deux vecteurs ou de deux forces, mais qui bien qu'assez assurées de la validité de leur position ne trouvent pas facilement d'arguments convaincants susceptibles de faire vaciller les convictions des groupes qui se sont déjà exprimés : quand ils donnent des explications pertinentes avec les mains, ils ne convainquent pratiquement personne, et s'ils viennent spontanément au tableau dessiner un repère, introduire l'angle du fil avec l'horizontale et qu'ils montrent alors qu'on tombe sur l'inverse d'un sinus, ils sont fortement applaudis pour la beauté du geste (« *comme il est savant !* ») mais **comme ils n'occupent pas une position de professeur, ils sont peu suivis**⁵⁹ (très peu de leurs collègues déclarent après une telle intervention passer de 1,5 kg ou 3 kg à 20 kg. Beaucoup, au contraire, reprennent la parole pour défendre un peu plus fort encore leur thèse initiale « *avec deux brins c'est plus facile qu'avec un seul !* »).

Parfois, mais rarement, un moniteur ose justifier son choix par une expérience pratique vécue personnellement : par exemple, à Orsay un polytechnicien s'était payé un franc succès quand il avait expliqué qu'il avait eu beaucoup de mal le week-end précédent pour retendre le fil à linge sur lequel sa mère avait déposé un drap. Il nous avait expliqué alors avec de grands gestes qu'il avait dû tirer de toutes ses forces pour que le drap ne traîne plus au sol, et sa « démonstration » avait momentanément jeté un trouble dans l'esprit de ses opposants car il était assez « balèze » !

Ce type d'évocation naïve et imagée provoque toujours de grands éclats de rire et fait bouger quelques-uns qui se rappellent subitement avoir rencontré de telles difficultés avec des filets de tennis ou de volley, mais beaucoup s'interrogent néanmoins : peut-on prendre au

59 On est là dans la position où se trouve tout groupe d'élèves ou d'étudiants en début d'un cours constructiviste : il n'y a pas encore une base de culture commune reconnue par tous les membres du groupe classe ou amphitheâtre qui permettrait à chacun de savoir sur quel type d'arguments légitimes il doit s'appuyer pour se convaincre ou convaincre les autres qu'on se trompe ou ne se trompe pas ! Il semble qu'il y ait ici une sorte de réaction collective primaire de refoulement du « magistral », certains semblent dire : « puisque pour une fois on nous demande de dire ce qu'on pense a priori être le bon ordre de grandeur et qu'on estime que c'est de l'ordre du poids du jean, ce n'est pas parce qu'un pair essaye de nous faire un bel exposé magistral et affirme le contraire de ce que nous pensons en introduisant un repère et des sinus, qu'on va se laisser faire et changer immédiatement d'avis..., bien au contraire... on va réaffirmer avec plus de force les raisons de notre choix initial ! »

sérieux cette intrusion d'un réel aussi naïf pour prendre la décision de remettre en question une conviction que l'on a rationalisée⁶⁰ ($1,5 + 1,5 = 3$).

La position « ? » recouvre essentiellement ceux qui estiment ne pas avoir assez de données pour décider.

Quand le professeur insiste pour dire qu'il ne s'agit pas de faire un calcul exact, mais de déterminer un ordre de grandeur plausible, beaucoup « bottent alors en touche » en disant que « ça dépend... suivant que les poteaux font 10 m de haut ou plus, ou encore sont écartés de 100 m ! » ; certains laissent même entendre qu'ils ont repéré qu'il s'agissait là d'un problème type « âge du capitaine » dont on a parlé quelques instants avant.

Le plus souvent ces moniteurs n'ont pas très envie de sortir de leur position de refus - « *je ne veux pas m'investir dans un tel problème !* » - même si le professeur précise que rien n'est truqué ici pour les « piéger », même s'il précise à nouveau que *les poteaux font environ 2 m de haut et sont écartés d'environ 4 m, que la flèche est d'environ 10 cm et que le jean est seul au milieu de la corde, que la poulie n'offre aucune résistance à la rotation et que le poids de la corde à linge est négligeable au regard du reste, etc. etc...*

Il semble souvent que la plupart de ces adeptes de la position « ? » n'ont pas très envie de sortir de leur position de refus de s'engager sur une valeur plausible, probablement par peur d'affronter le regard critique des autres quand ils devront constater au moment de l'institutionnalisation qu'ils ont choisi une « mauvaise solution » et qu'ils l'ont publiquement défendue avec de mauvais arguments.

Au bout de dix à quinze minutes de débat très animé, personne n'arrivant à emporter l'adhésion d'une majorité de pairs, le professeur propose (pour éviter la lassitude de l'enlisement du débat où bien souvent les mêmes arguments reviennent au bout d'un moment sans emporter davantage la conviction générale) de durcir le conflit entre des positions antagonistes en ne donnant plus à chacun que le choix entre deux positions franchement différentes.

Il demande alors à chacun de se situer face à l'alternative :

Ou bien la tension du fil dans le schéma présenté est plutôt de l'ordre du poids du jean (1,5 kg, 3 kg et 6 kg), ou bien cette tension est beaucoup plus forte que le poids du jean (plus de 20 kg) ?

Le résultat du second vote qui a lieu à cet effet est lui aussi très stable et l'on observe que les positions ont très peu bougé globalement :

De l'ordre du poids du jean	Beaucoup plus	Ne veut pas prendre parti
Environ 70%	Environ 20%	Environ 10%

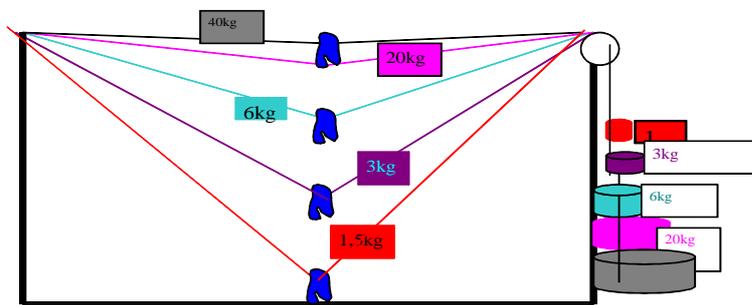
Le professeur propose alors de faire l'expérience (comme c'est souvent demandé par certains quand ils trouvent que le débat tourne en rond et que plus personne n'arrive à convaincre par des arguments rationnels ses opposants épistémiques de changer de position).

⁶⁰ Le concept d'obstacle épistémologique n'existe pas plus dans la tête de ces étudiants qu'il n'a existé, semble-t-il, dans celle des professeurs qui les ont instruits.

c. Le recours à l'expérience pratique.

Si on prend des poteaux de 2 m, que l'on demande à plusieurs personnes de les maintenir debout (car c'est trop difficile de maintenir vertical chaque poteau pour une personne seule), si on écarte ces poteaux d'environ 4 m et qu'on accroche avec un mousqueton un jean lesté à 3 kg au milieu du fil, l'expérience est plus spectaculaire que le schéma ci-dessous quand les jambes du pantalon sont un peu longues, car à la surprise générale avec 1,5 kg, 3 kg et même 6 kg les jambes du pantalon traînent toujours lamentablement au sol.

Positions du « jean » de 3kg en fonction du poids du contrepois



Positions du « jean » de 3kg en fonction du poids et du contrepois
Hauteur des poteaux \approx 2 m, Distance des poteaux \approx 4 m

- Contrepois de 3 kg \rightarrow flèche \approx 115 cm
- Contrepois de 6 kg \rightarrow flèche \approx 50 cm
- Contrepois de 20 kg \rightarrow flèche \approx 15 cm
- Contrepois de 40 kg \rightarrow flèche \approx 7,5 cm
- Contrepois de 60 kg \rightarrow flèche \approx 5 cm
- Contrepois de 100 kg \rightarrow flèche \approx 3 cm
- Contrepois de 1000 kg \rightarrow flèche \approx 0,3 cm

Si à la demande de certains on soulève artificiellement le jean pour qu'il ne traîne plus, dès qu'on le relâche, il retombe au sol (« *il faut relaver le pantalon* » s'exclame le professeur !).

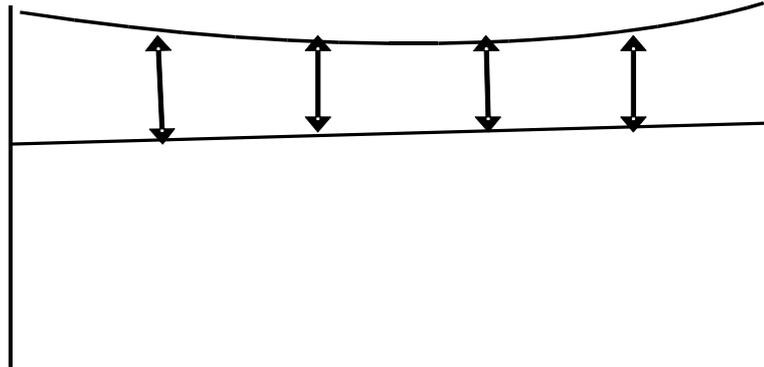
Ce n'est que lorsqu'on accroche au moins 20 kg que les choses commencent à s'arranger vraiment et c'est plutôt 40 kg qu'il faut accrocher si on veut que le fil ait à peu près la même allure que celle du dessin initial (l'expérience est délicate à mener à ce moment, car les moniteurs qui ont été mobilisés pour tenir les poteaux ont du mal à s'opposer à une telle tension latérale néanmoins nécessaire pour que le jean occupe une position assez voisine de celle montrée sur le dessin où l'angle est de 3° ou 4°).

Une fois cette expérience effectuée et le calme revenu (car beaucoup de moniteurs ont du mal à croire ce que leurs yeux ont vu et certains soupçonnent même à mi-voix une sorte de manipulation du professeur), le professeur commente avec humour ce problème du jean, lequel, dit-il, est d'abord « *l'occasion principale de la rupture des couples !* » avec comme explication contestable et contestée que : « *c'est en général le « mec » qui tend le fil à linge et la « nana » (protestations !) qui l'utilise, donc qui voit le fil se détendre après usage ; après plusieurs remarques /demandes de plus en plus agacées, au cours desquelles le mec retend de plus en plus désespérément le fil et sa « nana » le constate toujours détendu après avoir fait sécher le linge, le ton monte, les amarrages de l'étendage et/ou le fil craquent et le ménage... se dissout !* »)

Ensuite et plus sérieusement, sont évoqués les problèmes qu'EDF rencontre avec les chutes de neige collante qui bien que ne représentant pas une masse considérable de neige, arrivent néanmoins à faire rompre des lignes à haute tension largement sur-dimensionnées pour tenir leur poids propre, et surtout les problèmes que l'on rencontre pour alimenter en courant électrique les chemins de fer, puisqu'on doit alors arriver à tendre un fil conducteur de

masse importante pour transporter un fort courant et assez horizontal pour ne pas faire de vagues qui seraient incompatibles avec des trains roulant à très grande vitesse.

Le professeur présente donc le dessin ci-dessous qui montre comment les ingénieurs qui s'occupent des caténaires transportant le courant électrique au dessus du train résolvent ce problème en adaptant la solution que le « jean » nous a suggérée (bien d'autres événements heureux ou malheureux de la vie ordinaire - par exemple rupture d'un amarrage très solide mais mal pensé en montagne ou au contraire déplacement d'un arbre abattu mais trop lourd à tirer directement - peuvent être évoqués car ils relèvent tous des théories sous-jacentes au problème du jean).



Toute cette mise en scène du professeur nous paraît « nécessaire » pour arriver à déstabiliser un double type de convictions « erronées » de ses interlocuteurs :

- il s'agit dans un premier temps de déstabiliser une conviction très erronée au niveau de l'épistémologie des vecteurs et des forces (« *les vecteurs et les forces s'épaulent en s'ajoutant comme le feraient des nombres positifs* » !), conviction que la très grande majorité d'entre eux, scientifiques ou non, ont gardée malgré leurs études ;
- dans un deuxième temps, on peut alors espérer pouvoir déstabiliser des convictions épistémologiques et didactiques - à notre sens très erronées aussi - sur la nature et le rôle des savoirs scolaires et sur la toute-puissance du monstatif pour enseigner concepts et théories, conviction que la plupart d'entre eux semblent avoir héritée de leurs études et de la « réussite » dans leurs études (beaucoup sont intimement persuadés qu'en présentant tout de suite les théories de façon non problématique et en posant les problèmes directement dans le cadre des évaluations futures, on gagne beaucoup de temps et on arrive ainsi à bien enseigner concepts et théories, au moins à celles et ceux qui peuvent les « comprendre », i.e. à celles et ceux qui savent bien les réciter !!).

Il s'agit donc par cette expérience qui produit des résultats indiscutablement contraires aux thèses qu'ils ont soutenues dans le débat quand ils ont exprimé leurs convictions spontanées sur la situation, d'arriver à faire prendre conscience à ces professeurs, sans les humilier, ***qu'ayant eux-mêmes appris au moyen de didactiques qui ont le plus souvent soigneusement évité les conflits cognitifs, ils ne sont pas parvenus à détruire des convictions profondément erronées mais très naturelles - obstacles épistémologiques*** - qui les poussent encore aujourd'hui à penser naïvement comme tout un chacun que « *dans une somme de vecteurs ou de forces, le tout est, comme avec des grandeurs numériques positives, supérieur aux parties* ».

Notre thèse didactique est ici que ce double type de convictions erronées, celles sur les vecteurs et les forces d'abord, mais encore plus celles qui poussent tout professeur à refuser dans un premier temps au moins la notion « d'obstacle épistémologique » (i.e. les savoirs les plus importants s'opposent le plus souvent très violemment à notre vision spontanée du monde), sont si fortes chez la plupart des humains (mettre en cause ces convictions est en soi un obstacle épistémologique) qu'elles ne peuvent être ébranlées que si pendant un temps au moins elles sont très fortement bousculées par de violents conflits cognitifs.

La tâche est doublement délicate ici, car il faut arriver à bousculer fortement ces convictions contraires sans pour autant vexer/humilier celles et ceux qui vont devoir convenir, à terme, qu'ils se sont lourdement trompés. Il va falloir qu'ils parviennent à en convenir au moins avec eux-mêmes, pour pouvoir en fin de compte renoncer à ces convictions erronées forgées de longue date auxquelles ils tiennent énormément car les premières (le tout est supérieur aux parties) se présentent à eux comme l'évidence du « bon sens » et les secondes (refus de la notion d'obstacle épistémologique, au moins pour les bons élèves) sont pour eux une sorte de gage de la supériorité des « bons élèves » qu'ils ont été !

En réalité donc, nous souhaitons en faisant cette expérience avec des moniteurs de toutes les disciplines, travailler sur le fond deux points importants qui dépassent totalement le problème pratique du fil à linge bien évidemment, mais aussi le problème particulier des vecteurs et des forces.

Il s'agit au bout du compte d'aborder deux interrogations méta qui nous apparaissent comme cruciales : une au niveau épistémologique et didactique et l'autre au niveau didactique et éthique.

d. Première interrogation méta au niveau épistémologique et didactique :

Au delà des vecteurs et des forces que l'on peut considérer ici comme de simples prétextes, nous souhaitons en proposant une telle situation à ces jeunes professeurs leur faire prendre conscience que la valeur principale des savoirs théoriques (ici en math. et physique) qu'ils enseignent à leurs élèves/étudiants n'est pas forcément (comme beaucoup le pensent) d'être des « savoirs externes »⁶¹ qu'il leur suffirait de montrer pour que leurs interlocuteurs apprennent à les manipuler dans des situations académiques et deviennent ainsi capables de restituer à l'identique quand on les interrogera de façon canonique, mais plutôt d'être des « savoirs internes », i.e. des outils de transformation intellectuelle de ces sujets épistémiques qui vont alors devenir plus aptes à s'adapter à des situations imprévues.

Pour nous.... il s'agit donc principalement d'attirer l'attention de ces professeurs sur le fait que la vocation principale, la vraie valeur des savoirs fondamentaux qu'on enseigne à l'école **est donc, peut-être d'abord et avant tout, de changer le regard sur le monde du plus grand nombre possible des élèves/étudiants à qui ils s'adressent.**

La situation du jean a l'avantage de montrer l'importance de provoquer ce changement de regard chez l'élève/l'étudiant et simultanément de pointer le fait que ce changement n'a rien d'évident, ne se fait pas de soi, à la longue... au moins pour les bons élèves, comme on voudrait

61 **Savoirs externes/internes** : notions épistémologico-didactiques que nous avons déjà abordées dans l'exemple du parallélogramme.

tous pouvoir l'espérer (c'est ce que montrent les réactions spontanées de la plupart des bons élèves présents que sont les moniteurs scientifiques et qui néanmoins se trompent presque autant que les autres !)

Cette situation du « jean » nous paraît donc particulièrement bien adaptée pour aborder l'obstacle épistémologico-didactique que représente d'abord le fait de distinguer le *savoir externe du savoir interne et ensuite de prendre conscience que le second qui est si précieux n'est pas une conséquence automatique du premier* : il s'agit d'arriver à mettre en cause la tendance naturelle qu'on a tous, dès qu'on travaille un savoir dans le cadre de l'école, à donner de l'importance au savoir externe « qui fait marcher l'école » car il s'enseigne et s'évalue facilement et donne immédiatement un statut de « bon ou mauvais élève » au sujet scolaire suivant qu'il sait ou ne sait pas restituer ce savoir externe, et de donner par contre une moindre importance, voire à négliger la construction d'un savoir interne qui transformerait de façon durable et pertinente le regard du sujet épistémique sur le monde.

La tendance naturelle du professeur et de l'élève quand ils coopèrent à l'école est de se dire implicitement que si un savoir est susceptible de transformer le regard du sujet épistémique sur le monde, sa maîtrise externe suffira à terme au moins aux bons élèves pour provoquer ce changement !

Or, précisément, cette expérience du « jean » fait (à chaque fois qu'on la renouvelle) la démonstration in vivo du contraire puisque la très grande majorité des participants sont obligés de constater (importance de garder sous les yeux de tous le tableau des votes au moment où s'effectue l'expérimentation) *que des savoirs fondamentaux* comme ceux qui sont en jeu ici (les forces et les vecteurs), savoirs *qu'ils ont tous rencontrés et bien appris à l'école* et que certains (en particulier les mathématiciens et les physiciens) peuvent facilement exploiter sans faire la moindre erreur lorsqu'on leur pose le « même problème » mais dans une formulation scolaire, *n'ont pas véritablement changé leur propre regard sur cet aspect de la réalité du monde, y compris parmi ceux qui sont des spécialistes de ces questions.*

e. Deuxième interrogation au niveau didactique et éthique :

Nous souhaitons en proposant cette situation aux moniteurs de toutes les disciplines les amener à l'interrogation suivante : « Le fait que des savoirs pertinents et appris par tous n'aient provoqué aucun changement de regard sur le monde auprès de la très grande majorité des participants (y compris les spécialistes) n'est peut-être pas un hasard : ce fait ne doit-il pas être mis en relation avec les choix didactiques dominants de l'école qui évite le plus possible l'apparition de conflits cognitifs ? »

Il s'agit donc ici de provoquer un questionnement fort sur les choix didactiques canoniques de l'école, questionnement qui n'est pas du tout spontané/naturel chez un jeune professeur, bien au contraire vu que le plus souvent, s'il occupe cette position de professeur, c'est parce qu'il a été lui-même « bon élève de cette école » et choisi/sélectionné de par ses qualités à bien répondre aux critères dominants de cette didactique, en particulier savoir ne pas se laisser perturber par la présence d'éventuels débuts de conflits cognitifs !

Ce qui nous paraît essentiel ici, c'est que ces professeurs en formation puissent remarquer sans être humiliés que le « désastre épistémologico-didactique » qui s'étale sous leurs yeux, se produit sur un public trié, qui ne peut pas être taxé d'ignorance et/ou de manque d'intérêt ou de capacités intellectuelles (moyen de défense naturel des enseignants qui face à un tel échec de compréhension de la portée d'un savoir par une majorité d'élèves/étudiants ont

très vite tendance à incriminer le bas niveau des participants plutôt que d'interroger fortement les modes didactiques qui ont été mis en œuvre pour enseigner ce savoir).

Ici tous peuvent constater que **des comportements très naïfs** qui seraient d'une certaine façon bien compréhensibles de la part de non spécialistes qui n'aiment pas vraiment la science et/ou ne côtoient plus ce type de problèmes depuis des années (il y en a dans l'assemblée mais ils sont très minoritaires en nombre) **deviennent surréalistes quand ils sont adoptés par ceux** (la majorité des moniteurs présents) **qui pratiquent ce type de questionnement tous les jours** (chaque année des physiciens et/ou des mathématiciens viennent nous dire en aparté : c'est terrible, je suis en thèse de math. ou de physique et je sais bien entendu traiter ce type de problèmes en quelques minutes quand ils sont « bien posés », et ici j'ai réagi exactement comme mes collègues de lettres ou de droit qui ne se préoccupent pas a priori de ce type de questionnement !).

En d'autres termes, nous espérons que cette situation vécue dans sa dimension épistémologique mais aussi dans son aspect psycho-social dramatique va être assez forte pour provoquer une interrogation didactique et éthique du type suivant chez nombre de ces enseignants :

- *Pour enseigner des concepts et des théories qui nous éclairent sur le monde, **il existe différents choix didactiques qui ne sont pas du tout équivalents !***
- *Il nous faut donc oser questionner ces choix didactiques, notamment les choix didactiques dominants de l'école qui évitent la problématisation et les conflits cognitifs ; il faut oser questionner ces choix non seulement pour tenir compte de celles et ceux que l'école exclut habituellement en les abandonnant au bord du chemin quand ils n'arrivent plus à suivre, mais aussi (**et peut-être en un certain sens d'abord**) pour mieux se préoccuper de ceux que l'école désigne avec ses critères didactiques usuels comme ayant véritablement compris en leur offrant apparemment par la brillante réussite aux diplômes qu'elle délivre toutes les garanties d'avoir acquis une très bonne maîtrise des savoirs sur lesquels ils ont été évalués.*

Ainsi ces très bons élèves doivent arriver à se dire :

- *« si d'un côté les choix didactiques dominants de l'école nous ont très bien réussi dans la mesure où ils nous ont permis d'accéder (pour certains avec une grande facilité) à un statut d'élite dans la société, ... ces choix qui sont très adaptés au bon fonctionnement de l'école ne nous ont-ils pas par contre placés dans une position fâcheuse par rapport aux compétences que nous sommes censés avoir acquises de par nos diplômes ? »*
- *« d'une certaine façon notre position vis-à-vis de la société est-elle acceptable sur un plan déontologique car d'une part, l'école étant une institution très officiellement respectée, tout non spécialiste est sommé de nous reconnaître comme plus compétents que lui sur un plan épistémologique au moins dans les domaines pointus que recouvrent nos diplômes, mais en pratique, il s'avère que nous sommes capables de porter sur des situations de vie courante qui relèvent des savoirs que nous sommes censés parfaitement maîtriser, un regard peu différent de celui que portent celles et ceux qui ignorent ce que nous avons appris et qui « doivent » de ce fait se taire/nous faire confiance quand nous donnons notre point de vue, parfois de façon très péremptoire ! »*

On voit donc qu'un tel retournement de conviction ne va pas sans poser des questions essentielles et délicates de place dans la société et d'ego !

Une fois donc passé le choc engendré par une expérimentation qui met assez crûment en évidence (le tableau des réponses est impressionnant au moment où l'expérience se réalise) l'immense fossé qui peut s'être creusé chez la plupart des participants entre **savoir externe** (ce qu'ils savent bien restituer à l'identique) et **savoir interne** (ce qui leur permet de s'adapter avec plus de pertinence dans l'action), choc dont on cherche à diminuer la dureté avec un peu d'humour (pour ne pas être humiliant) sans pour autant en minimiser l'ampleur (pour ne pas déresponsabiliser), l'institutionnalisation que nous proposons à ces moniteurs s'adosse aux diapositives suivantes.

f. L'institutionnalisation didactique.

Elle se fait au moyen de diapositives que nous vous présentons telles quelles (à lire ligne par ligne).

<p style="text-align: center;">Pourquoi une situation comme celle du jean ?</p> <p>Ici comme à beaucoup d'endroits</p> <ul style="list-style-type: none"> • le "bon sens" nous donne une très mauvaise intuition de la situation !!! • Le "bon sens" ici c'est d'estimer que la tension du fil est de l'ordre du poids du jean • Un peu plus..., un peu moins... suivant la façon dont on prend les choses, • mais en tout cas <p style="text-align: center;">jamais dix à vingt fois plus!!!</p>	<p><u>Les scientifiques ont construit des théories</u> pour nous aider à "bien penser" ces situations de vie où le "bon sens" nous trompe !</p> <p>Dans cette problématique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les physiciens ont inventé les forces • Les mathématiciens ont construit les vecteurs • <u>L'école enseigne ces deux théories</u> à tous les élèves à partir de la seconde, et cependant... nous constatons ici que confrontés à ce problème pratique du jean, une majorité d'entre nous le traitent sans tenir aucun compte de ce que nous avons tous appris dans ces deux théories ! • Pourquoi donc le fait d'avoir appris des théories justes ne nous confère-t-il pas davantage de bonnes intuitions là où ces théories éclairent avec une grande pertinence les situations complexes de la vie dans lesquelles notre « bon sens » s'entise ? 								
<p style="text-align: center;">Le problème ici, c'est qu'il y a un obstacle épistémologico-didactique</p> <p>le "connu" = les nombres le "nouveau" = les vecteurs</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>Tous ont en commun qu'ils s'ajoutent mais pas de la même façon</p> </div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>le tout est supérieur aux parties</p> <p>Si 2 nombres « coopèrent » (même signe), leur somme est toujours plus grande que chacun d'eux</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <p>les vecteurs peuvent se détruire en s'ajoutant</p> <p>Si 2 vecteurs « coopèrent » (les forces tirent toutes vers le haut), leur somme peut être dérisoire par rapport à chacun d'eux</p> </td> </tr> </table>	<p>le tout est supérieur aux parties</p> <p>Si 2 nombres « coopèrent » (même signe), leur somme est toujours plus grande que chacun d'eux</p>	<p>les vecteurs peuvent se détruire en s'ajoutant</p> <p>Si 2 vecteurs « coopèrent » (les forces tirent toutes vers le haut), leur somme peut être dérisoire par rapport à chacun d'eux</p>	<p style="text-align: center;">Le dilemme permanent de l'enseignant</p> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>Pour enseigner du nouveau et du "difficile" le professeur doit effectuer des choix entre...</p> </div> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;">continuité</td> <td style="width: 50%;">rupture</td> </tr> <tr> <td>évitement</td> <td>affrontement</td> </tr> <tr> <td>répondre</td> <td>questionner</td> </tr> </table>	continuité	rupture	évitement	affrontement	répondre	questionner
<p>le tout est supérieur aux parties</p> <p>Si 2 nombres « coopèrent » (même signe), leur somme est toujours plus grande que chacun d'eux</p>	<p>les vecteurs peuvent se détruire en s'ajoutant</p> <p>Si 2 vecteurs « coopèrent » (les forces tirent toutes vers le haut), leur somme peut être dérisoire par rapport à chacun d'eux</p>								
continuité	rupture								
évitement	affrontement								
répondre	questionner								

1^{er} choix possible : très "monstratif"

La continuité avec le « connu » = le nombre

Un vecteur n'est pas un nombre...mais **presque** :

c'est un « triplet » de 3 nombres $\vec{V} = (V_1, V_2, V_3)$

L'addition est **simple** : $\vec{V} + \vec{W} = (V_1 + W_1, V_2 + W_2, V_3 + W_3)$

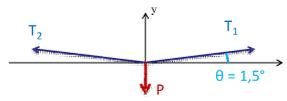
Même la longueur (norme) se **calcule simplement** :

$$\|\vec{V}\| = \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2 + (V_3)^2}$$

Pas de saut conceptuel, ce vecteur-là (triplet de nombres) s'enseigne et s'apprend bien... mais que nous apprend-il en terme de plus grande compréhension du monde ???

Comment savoir alors ce que nos élèves ont compris sur le fond ?

Si le problème est "bien posé " i.e. de façon traditionnelle



alors la « bonne réponse » redevient majoritaire... $T = P/2\sin(\theta) \sim 20P$

Nos élèves/étudiants "savent" ! Mais... que savent-ils au juste ?

Notre expérience ne tend-elle pas à montrer que c'est un leurre... puisqu'en la renouvelant sur plusieurs milliers de personnes, dont beaucoup de scientifiques de haut niveau

plus de 80% répondent à l'opposé de ce qu'ils ont appris ?

Question cruciale (pour nous enseignants) :

Ces situations "extra-ordinaires" type "jean" ne sont-elles pas nécessaires pour que chacun de nos élèves/étudiants puisse affronter l'obstacle épistémologique au lieu de le contourner sans même le voir ?

2nd choix possible : amorce constructiviste

La rupture avec le « connu » = le nombre

OUI : les vecteurs « ressemblent » aux nombres puisqu'ils s'additionnent

MAIS : cette addition est une mise commun de plusieurs contributions

Et donc... l'addition des vecteurs et celle des nombre sont **DIFFERENTES**

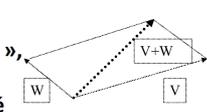
La situation du « jean » est construite pour faire éprouver d'emblée cette différence

Cet « arsenal didactique » nous semble justifié ici car la présence d'un obstacle épistémologique empêche une compréhension profonde !

Une fois l'obstacle rencontré, une fois donc un début de ce sens profond présent chez beaucoup d'élèves/étudiants, le professeur doit « faire cours »,

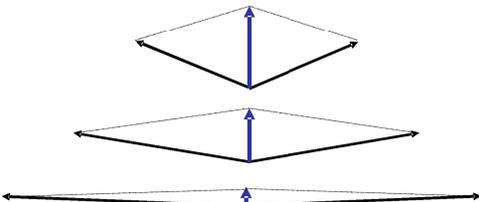
i.e. il doit montrer **lui-même** quel type d'addition la communauté scientifique a choisi pour construire le modèle vectoriel.

Il doit montrer que si on choisit pour addition des vecteurs « la diagonale du parallélogramme », le sens de ce choix prend en compte par sa complexité tout ce que l'expérience du "jean" nous a révélé.



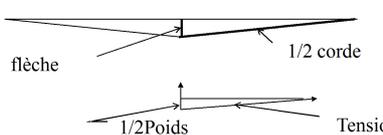
Plus le débat aura été vif, plus on aura défendu les positions erronées 1,5 kg, 3kg , 6kg et plus on aura de chances d'**intérioriser** que

« la norme d'un vecteur peut être dérisoire même s'il est somme de vecteurs très grands »



La classe peut alors découvrir comment adapter les théories « vecteurs » et « forces » au cas présenté :

En exploitant Thalès on peut affirmer que :



la Tension est au 1/2 Poids ce que la 1/2 Corde est à la flèche.
 Dans ce modèle, si corde = 4m, flèche = 5cm,

la tension doit être de l'ordre de 20 fois le poids, ce qui va contre le « bon sens », mais est conforme à l'expérience !

<p><u>Bilan sur cette entrée constructiviste</u></p> <p><u>I) Au niveau du savoir proprement dit</u> (niveau épistémologique)</p> <p>- la situation du jean ne permet pas à l'élève d'inventer , de construire lui-même les vecteurs !</p> <p>Elle montre seulement la nécessité de construire des entités qui s'additionnent mais pas comme les nombres !!!</p>	<p><u>Bilan sur cette entrée constructiviste</u></p> <p><u>II) Au niveau du contrat didactique,</u> ce mode <u>constructiviste</u> réclame</p> <ul style="list-style-type: none"> • du temps • que les élèves s'impliquent, • "se trompent" et ne se sentent pas humiliés, • acceptent la frustration d'une réponse magistrale qui tarde ! <p>Que vont ressentir ceux qui se considèrent ignorants, qui doutent d'eux ? Comment vont réagir les « bons élèves », ne vont-ils pas être vexés de s'être « laissés prendre » ?</p> <p><i>Où se situent l'intérêt, l'utilité, la valeur... la nécessité de tout cela ???</i></p>
<p><u>En guise de conclusion</u></p> <p><i>La liberté de choisir, de prendre l'initiative est un bien inestimable !</i></p> <p><i>Cette liberté dans un monde complexe passe par l'intériorisation des savoirs</i></p> <p><i>Cette intériorisation</i> <i>a un coût didactique important</i></p> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; text-align: center;"> <p><i>Il nous faut donc choisir !</i></p> </div> <p><i>C'est la raison de notre réflexion éthique commune</i></p>	<p><i>à méditer ensemble</i> <i>pour mieux choisir ...</i> <i>individuellement !</i></p>

Nous ne pouvons prétendre que cette situation du « Jean » réalise tous les objectifs épistémologiques et didactiques ambitieux que nous lui assignons, mais nous pouvons seulement affirmer que nous n'avons jamais rencontré fortuitement un seul ancien moniteur ou une seule ancienne monitrice, qui dix, quinze ans après ne vienne nous saluer et nous parler au bout de quelques échanges de cette situation du « jean » comme un moment fort qui les a marqué dans leur réflexion sur le métier (ce qui ne signifie nullement qu'ils l'aient reprise à leur compte ou qu'il enseignent en exploitant intensément le principe du « débat scientifique qu'ils avaient ainsi expérimenté in vivo !).

7) La « terrible » révélation des fantômes écossais :

Pour nombre de nos élèves, de nos étudiants, une démonstration mathématique peut être considérée comme juste et néanmoins établir un résultat manifestement faux !!!

Et cette négation violente de la consistance épistémologique des démonstrations mathématiques ne suscite aucun tollé dans une classe de terminale, et pas davantage en licence de math, et même en préparation à l'agrégation !

De façon précise, de quoi s'agit-il ?

Si on s'y prend habilement il est possible de proposer une apparente solide démonstration par récurrence de la propriété absurde suivante :

Propriété (dite des fantômes écossais)

« Si vous repérez dans un groupe de personnes la présence d'un fantôme écossais, alors vous pouvez être certain que toutes les personnes de ce groupe sont des fantômes écossais ! »

Ce qui rend plausible cet énoncé pour le moins surprenant, c'est le fait qu'il met en jeu des fantômes qui n'existent pas forcément dans la réalité, d'où le fait qu'il soit assez normal que des élèves de terminale ou même des étudiants beaucoup plus avancés acceptent sans réagir, si ce n'est en souriant, d'en regarder par simple curiosité la preuve par récurrence que leur professeur leur proposera avec beaucoup de sérieux et un léger clin d'œil.

Dans une telle classe donc, le professeur peut commencer par (ré)énoncer très simplement le principe de récurrence de la façon suivante : « si une propriété est vérifiée au premier stade et si, lorsque vous savez qu'elle est vérifiée à un stade, vous pouvez montrer qu'elle l'est automatiquement au stade suivant, alors cette propriété est toujours vérifiée ! »

Il peut alors appliquer ce schéma récursif pour montrer, comme nous allons le faire au paragraphe suivant, la prolifération instantanée des fantômes écossais dans tout groupe qui en comporte au moins un.

En fait il va montrer que « si dans un groupe de n individus, l'un d'entre eux a une qualité particulière, alors tous ont cette même qualité particulière ».

Comme nous l'avons déjà laissé entendre, l'intérêt didactique de cette formulation en terme de « fantômes écossais » est que grâce aux fantômes qui n'existent pas véritablement et à l'Écosse qui est un peu mystérieuse pour les Français, cette assertion reste soutenable avec sérieux par le professeur dans la classe, et qu'alors la proposition du professeur de la « démontrer proprement par récurrence » va éveiller a priori la curiosité de chacun sans obliger ces élèves à penser qu'il s'agit du jeu classique : « trouver où est l'erreur ! », ce qui va permettre au professeur de savoir indirectement où en sont ses élèves à propos des démonstrations mathématiques assez formalisées comme le sont les preuves par récurrence : leur accordent-ils une véritable consistance épistémologique ou non ???

Cette interrogation autour de la validité de l'usage des raisonnements bien formalisés nous paraît importante à (re)susciter dans une classe au moment où l'on introduit le

raisonnement par récurrence car certains élèves ont du mal à comprendre les changements successifs d'attitudes épistémologiques des professeurs vis-à-vis des phénomènes récurrents.

En effet :

- à la petite école, pour introduire à la généralité, on pousse souvent les jeunes élèves à exploiter le fait que « ce qui marche pour 1, puis pour 2, puis pour 3, a de bonnes chances de marcher pour tous ! » i.e. est susceptible de généralisation ;
- un peu plus tard, on le met en garde vis-à-vis de ce type de généralisation qui peut être abusive en lui faisant remarquer que ce qui est vrai un grand nombre de fois ne l'est pas toujours ;
- et quand arrive la récurrence, nombre d'élèves ont confusément l'impression que dans la démarche qu'on leur demande d'adopter : « supposons que $P(n)$ soit vrai et cherchons à en déduire que $P(n+1)$ est vrai aussi », il y a une sorte de tautologie ou de cercle vicieux (pourquoi supposer que $P(n)$ est vrai pour un rang n quelconque puisque c'est précisément ce qu'on veut montrer?!)

Mais en général le contrat didactique ne permet pas à ces élèves de manifester une telle insatisfaction épistémologique ; ils appliquent donc l'algorithme de preuve par récurrence tel qu'il est proposé par le professeur en s'en remettant plus que jamais totalement à lui en terme de pertinence et de validité de la démarche.

- L'accident des fantômes écossais peut, après coup, leur montrer que « supposer que $P(n)$ est vrai et être alors capable d'établir de façon valide que $P(n+1)$ l'est aussi » est loin d'être une tautologie et que précisément, si on constate qu'un raisonnement par récurrence permet de « prouver » une absurdité quand on veut généraliser pour un rang n quelconque ce qui était vrai au début, c'est précisément parce qu'il y a **certainement** eu « un certain rang n_0 où $P(n_0)$ était vrai, mais pas $P(n_0+1)$ » et ce qu'il faut alors impérativement revisiter en cas d'absurdité du résultat, c'est notre soi-disant preuve qui n'est pas valide car elle n'a pas pris en compte les spécificités de ce rang n_0 crucial !

On peut donc espérer ici qu'aucun élève ne croira vraiment à la validité de cette propriété au moment où le professeur l'énoncera, mais que, ne la rejetant pas immédiatement à cause des « fantômes », ceux qui ont des interrogations épistémologiques de cette nature (s'ils existent) vont (enfin) pouvoir les manifester car ils pourront légitimement dire : « *j'avais bien l'impression que cette récurrence c'était un peu de l'abracadabra et je n'avais pas tort puisqu'ici une telle procédure nous a permis d'établir un résultat totalement débile si on remplace la qualité « être un fantôme » par « être un homme » ou « être une femme », en respectant néanmoins à la lettre les canons de la récurrence !* »

Voici donc la « preuve par récurrence » proposée par le professeur

Etape initiale

On se persuade aisément que cette propriété est trivialement vraie au premier stade, i.e. quand on regarde un groupe formé d'une seule personne.

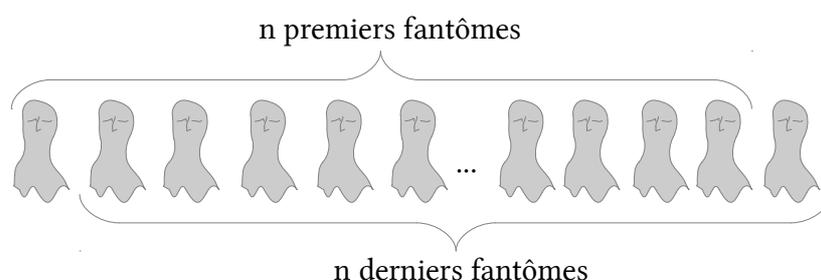
Etape centrale

Supposons donc que l'affirmation sur la propagation des fantômes soit vraie pour tous les groupes que l'on forme avec n personnes (« quand il y en a 1, il y en a n »).

Prenons donc un groupe de $n + 1$ personnes et supposons qu'il s'y soit glissé au moins un fantôme écossais.

Ce fantôme sera nécessairement soit dans les n premières personnes soit dans les n dernières.

Supposons que ce fantôme se trouve dans le groupe des n premières personnes, vous êtes alors (par hypothèse de récurrence) assuré que ces n personnes sont toutes des fantômes.



Le schéma ci-dessus nous aide à voir de façon évidente que tous ces fantômes du premier groupe sont (excepté le premier) dans le second groupe.

Ce second groupe de n personnes ayant alors lui aussi au moins un fantôme en son sein, toutes les personnes de ce groupe seront donc (par hypothèse de récurrence) aussi des fantômes.

Finalement comme toutes les personnes des deux sous-groupes sont des fantômes, toutes les personnes du groupe complet sont aussi des fantômes (ce qu'on voulait montrer).

Si on avait supposé au départ que le fantôme se trouvait dans le groupe des n dernières personnes, mutatis mutandis le raisonnement aurait été exactement le même.

Ainsi, comme la propriété est vraie pour $n = 1$ et comme elle passe sans problème de n à $n + 1$, elle est, en vertu du principe de récurrence, toujours vraie.

CQFD!!!

A première vue, cette démonstration est très troublante, puisqu'elle fournit la preuve « en béton » d'un résultat totalement débile qui (comme toujours quand les mathématiques débouchent sur une contradiction) a des conséquences logiques effrayantes !

Il est clair que si on arrive à démontrer proprement de cette façon cette assertion rocambolesque mais crédible pour des fantômes, on aura aussi prouvé proprement que dans toute collection de personnes ou d'objets « ce qui est vrai pour un est vrai pour tous ! » et par suite que « si dans un groupe de plusieurs personnes il y a une femme, alors toutes sont des femmes », ou encore « si dans un groupe de plusieurs nombres l'un est pair, alors tous sont pairs » etc..

En effet, si on regarde bien ***la preuve mathématique qui est proposée***, il n'est pas difficile de se rendre compte que cette dernière ne ***s'appuie*** absolument pas sur les propriétés extravagantes que l'on prête généralement aux fantômes, mais ***uniquement sur la façon dont on peut répartir un ensemble de personnes ou d'objets en deux sous-ensembles strictement plus petits ayant une intersection commune.***

Il devrait alors être assez clair pour beaucoup que finalement le sens profond de cette preuve serait, si elle était exacte, de pouvoir soutenir en bonne logique « qu'aucune différence n'a jamais existé et ne pourra jamais exister entre les objets d'une collection ou entre les membres d'un groupe ».

On peut donc convenir que *si on cherche à donner un sens profond à cette démonstration* (les démonstrations ont-elles vocation à avoir un sens profond pour ces élèves ?) en terme de preuve irréfutable d'une vérité universelle, *on ne peut que rejeter cette démonstration tant ses conséquences logiques sont inacceptables.*

Ce qui est troublant ici c'est que la contradiction ne repose pas du tout sur la présence d'un infini difficile à concevoir (comme l'ensemble de tous les ensembles) ou sur une façon paradoxale de poser un problème (paradoxe du menteur) mais sur le fait que la **démonstration par récurrence se présente ici comme un moyen indiscutable de prouver, de démontrer un fait inacceptable par quiconque :**

« ce qui est vrai pour un, l'est pour deux, puis pour trois, ..., et enfin pour tous » !

Quel est le vrai problème ici ?

C'est (évidemment?) le passage de un à deux car, si « ce qui est vrai pour un l'est aussi pour deux », alors « il le sera évidemment pour tous ! »

En effet, dans ce cas ($n = 1$ donc $n+1 = 2$) il n'y a « malheureusement » plus personne qui appartienne simultanément au groupe des « n premiers » et au groupe des « n derniers » ! (ce que notre dessin précédent réalisé avec beaucoup de personnes nous cachait bien !)



Mais entendons-nous bien, le fait épistémologique et didactique qui nous intéresse ici n'est pas de savoir si certains élèves vont être assez astucieux pour découvrir seuls cette erreur ; ce qui nous préoccupe ici, c'est d'exploiter au mieux cette situation paradoxale pour faire mieux apparaître le sens profond que nos élèves/étudiants donnent à l'action de « prouver » en mathématiques, de « démontrer ».

Si vous prévenez ces élèves qu'il y a une erreur dans la démonstration, il n'y aura probablement pas trop de surprises car à force de chercher, l'un ou l'autre de vos élèves/étudiants finira par dénicher la supercherie, surtout si pour les aiguiller vous leur dites que ce n'est pas pour « n grand » que les ennuis arrivent, mais plutôt pour les n trop petits, puisque notre raisonnement qui est en béton pour $n \geq 2$ s'effondre - heureusement ! - quand il s'agit de montrer que « tout ce qui est vrai pour 1 l'est automatiquement pour 2 ! ».

Si vous les prévenez donc, comme cela se fait habituellement, vous serez probablement assez satisfait de constater que quelques-uns de vos élèves/étudiants sont capables de trouver une erreur subtile quand on leur indique qu'il y en a une, mais vous ne saurez toujours rien sur ce qu'ils pensent réellement de la science ou sur la science, sur la légitimité qu'il y a (à leurs yeux) à faire intervenir la démonstration du mathématicien dans les affaires du monde, vous

ne saurez toujours pas ce qu'ils pensent sur le fond d'une démonstration formelle valide en terme de preuve absolue d'une vérité universelle.

Par contre, si vous ne « vendez pas la mèche », si vous voulez savoir vraiment ce qu'une classe ou un amphi concret pense véritablement sur ce sujet, présentez-leur très sérieusement cette « démonstration » sans faire tous les commentaires que nous venons de proposer, i.e. sans les prévenir de près ou de loin (comme à l'accoutumée) qu'il y a certainement une erreur dans la démonstration et que vous leur demandez de la chercher.

En vous forçant un peu, vous arriverez à faire cette démonstration par récurrence très sérieusement en cachant bien votre propre opinion - c'est le principe même du « débat scientifique en classe » où le professeur n'oriente pas en sous-main ses élèves/étudiants sur ce qui est vrai ou faux, pertinent ou non - mais si vous parvenez à garder votre sérieux pendant la démonstration, il faudra vous préparer à gérer le débat qui suivra probablement car l'expérience risque d'être rude pour vous, même dans un groupe d'élèves/étudiants que vous estimez « bons », voire « très bons en mathématiques ».

Pour ce qui nous concerne, les expériences que nous avons faites à différents niveaux (terminale, licence, voire prépa à l'agreg) ont presque toujours produit le même type de réaction :

Le plus souvent cette « démonstration » crée d'abord une surprise, un intérêt et un peu de gaieté dans la classe (grâce aux fantômes).

Après un temps de respiration où les élèves bavardent entre eux, nous avons l'habitude de poser la question :

« Que pensez-vous de ce résultat et de sa preuve ? »

Après avoir laissé aux élèves/étudiants quelques instants pour qu'ils prennent à leur charge cette question et puissent éventuellement en discuter entre voisins/voisines, nous leur demandons de donner leur opinion.

Là, les choses ont toujours tendance à se gêner un peu ; il y a même parfois une sorte de malaise car personne ne se bouscule pour prendre la parole.

Contrairement à ce qu'on devrait observer dans un groupe de scientifiques, **il ne se produit jamais de réaction vive et collective** de la classe ou de l'amphi pour dire grosso modo *« cette proposition est absurde, il y a sûrement une erreur de raisonnement quelque part ! Quelque chose flanche dans notre récurrence ! J'ai cherché à voir où était la faute de raisonnement mais ne l'ai pas encore trouvée ! »*.

Au lieu donc d'être piqués au vif de s'être laissés prendre à une fausse preuve et de chercher avec acharnement où l'erreur peut se nicher, bon nombre d'élèves/étudiants tendent à abandonner le problème au bout de cinq minutes, comme si pour eux **il ne s'agissait pas ici d'un vrai problème !** (ce qui est justifié d'un côté à cause des fantômes, mais l'est beaucoup moins vis-à-vis de la preuve donnée qui, elle, n'exploite pas du tout l'aspect irréel des fantômes et laisse donc penser que cette propriété anecdotique a une traduction « terrible » si on la replace dans le réel par : *« nous venons de prouver que « ce qui est vrai pour un, l'est pour tous »*).

Ce qu'ils expriment dans leurs échanges est à peu près ceci : *« voilà une curiosité de plus à laquelle la science nous a habitués ! Curiosité du genre : pendant des années on nous a dit formellement qu'un négatif ne pouvait pas avoir de racine et puis un beau jour, grâce aux*

nombres imaginaires on nous a dit que racine de $-1 = i$ et on s'en sert sans vergogne dans tous les calculs, y compris en physique pour calculer le déphasage du courant électrique créé par une bobine ; alors, le coup des fantômes qui se multiplie à plaisir, c'est un paradoxe de plus mais ce n'est pas beaucoup plus grave ! ».

Devant cette sorte de refus systématique de beaucoup d'élèves de voir une contradiction ici, nous avons à chaque nouvelle expérimentation insisté pour leur dire que **ce problème devait être pris au sérieux puisqu'on pouvait remplacer les fantômes écossais par n'importe quoi d'autre sans changer une virgule à la preuve !**

En effet, si on reste dans le cadre strict de la proposition initiale (sur les fantômes), on peut se dire (si on ne croit pas aux fantômes) qu'il s'agit là d'un faux problème, puisque la proposition est alors logiquement vraie et qu'il n'est nullement nécessaire de faire usage d'une quelconque récurrence pour le prouver (l'hypothèse « supposons qu'il existe un fantôme dans le groupe » n'étant jamais vérifiée, la proposition est vide, elle n'affirme rien, elle est donc logiquement exacte !).

C'est donc après avoir fait remarquer que la preuve que nous avons explicitée n'exploite aucune propriété mystérieuse des fantômes, preuve qui démontre donc de façon très générale que « ce qui est vrai pour un, est vrai pour tous » que nous proposons aux élèves/étudiants de se prononcer sur le fond en demandant à chacun d'essayer de résumer en une phrase lapidaire son opinion propre sur cette propriété générale et sur la preuve par récurrence que nous en avons donnée !

Et là, si vous faites l'expérience avec de vrais élèves/étudiants, il va falloir vous résigner à entendre l'insupportable pour un prof de math, i.e. entendre que :

« le résultat est faux, mais la démonstration est exacte ! »

Nous ne prétendons pas que ce jugement qui nie le sens même de la démonstration sera forcément la réponse unanime de votre classe ou de votre amphi, mais il est très improbable qu'elle ne figure pas en bonne place dans les réponses de vos élèves et de vos étudiants et que lorsque vous écrirez telle quelle cette « terrible phrase » au tableau **« le résultat est faux, mais la démonstration est exacte ! »** en demandant qui est d'accord ou pas d'accord, vous risquez de devoir constater qu'elle est approuvée par une majorité (faites l'expérience, vous serez probablement médusé).

De plus, ceux (il en existe toujours) qui ne se retrouveront pas dans cette affirmation qui nie la validité même des mathématiques, ne sauront pas forcément comment la combattre scientifiquement, ils attendront probablement que vous, le professeur, tranchiez, car sauf exception, aucun de vos élèves/étudiants ne se sentira assez solide pour emporter la conviction de ses pairs par la force de ses arguments.

Quelle est donc pour ces élèves, « nos élèves », ces étudiants, « nos étudiants », la consistance épistémologique d'une démonstration mathématique qui est déclarée exacte et permet néanmoins de prouver des résultats aberrants que tout humain scientifique ou non va, hors d'un cours de science, rejeter avec force car trop contraire à l'expérience et à l'évidence logique la plus élémentaire !!!

En particulier en mathématiques, comment pouvons-nous arriver à ce degré de malentendu sur le sens de la démonstration qui fonde toute l'organisation de notre discipline !!!

Il semble que nous soyons très nombreux à penser que pour faire véritablement des mathématiques il nous faut accepter la froideur d'un discours convenu dans lequel on prend la peine de préciser, définir, symboliser les différents objets que l'on souhaite faire intervenir dans un processus de preuve.

Cette complexité/rigidité (pesante pour tout le monde) n'est pas inventée artificiellement par le matheux pour embêter les élèves, c'est le prix à payer pour **qu'au bout du compte nos preuves qu'on appelle démonstrations**, si possible expliquent le pourquoi de ce qu'on affirme, mais aussi et surtout pour que, **lorsque nous les déclarons valides, nous puissions nous engager totalement pour affirmer que le résultat que nous venons de prouver ainsi ne cache aucune contradiction, aucune erreur et a fortiori aucune folie grossièrement évidente.**

La rigueur dans l'écriture d'une preuve mathématique c'est précisément, comme le souligne René Guitard, d'arriver à **« écrire les choses de telle façon que si c'est faux, ça puisse se voir ! »**.

Ce que nous révèle l'aventure des fantômes écossais, c'est à l'inverse une sorte d'irréalité, **d'irresponsabilité de la science, et des mathématiques en particulier, vis-à-vis de son rapport au monde.**

Pour la plupart de nos élèves et de nos étudiants il apparaît ici que **« la démonstration du mathématicien peut éventuellement prouver en toute rigueur de l'absurde, peut nous inviter à tenir pour mathématiquement vrai des thèses insoutenables dans la vie ordinaire, des thèses que tout humain normalement cérébré peut comprendre et va immédiatement rejeter avec force... s'il ne se trouve pas en cours de mathématiques ! »**

Pour eux, il apparaît sur cet exemple (mais une fois qu'on l'a remarqué, on le voit apparaître à de nombreuses autres occasions) que **ce qui est vrai en sciences et en mathématiques est valable en théorie, mais n'a pas vocation à nous fournir des modes de pensée généraux suffisamment fiables** pour être utilisables ailleurs, en particulier assez fiables pour ne pas nous induire à faire des prévisions déraisonnables quand on les applique à bon escient à des phénomènes de vie courante.

Nos élèves/étudiants auraient tout à fait raison s'ils pensaient qu'un modèle mathématique (par exemple un modèle utilisé en économie ou en météo) peut être tout à fait rigoureux et correct en soi et donner néanmoins par moments des prévisions très fausses dans la vie courante à cause de la mauvaise maîtrise d'un certain nombre de paramètres exceptionnels, mais à notre avis, ce n'est pas de cette sagesse-là dont il s'agit ici.

Si une démonstration peut continuer à être considérée par un grand nombre de nos interlocuteurs comme exacte une fois qu'on a constaté qu'elle permettait d'établir un résultat manifestement faux, quel peut être le sens de la démonstration dite « par l'absurde » ??? : (une absurdité de plus, que les mathématiciens ont institutionnalisée comme un mode de preuve valide ? ! ?).

D'une certaine façon, il semble que pour une grande partie de nos élèves/étudiants un théorème énonce une idée vraie « en mathématiques », mais une idée tellement abstraite qu'il faut éviter de l'utiliser dans la vie, car cette idée n'est fiable que dans la théorie : pour beaucoup il semble que Pythagore soit fiable à l'école pour calculer l'hypoténuse d'un triangle rectangle, mais pas forcément une fois sorti de l'école. Par exemple, utiliser Pythagore pour

prévoir la surface d'un toit à partir des dimensions au sol et des hauteurs prévues de murs supposés bien d'équerre n'est pas forcément considéré par eux comme une bonne idée : peut-être qu'en mesurant une réalisation pratique il faudra s'attendre à avoir des surprises ! Et « si d'aventure ils ont des surprises en mesurant une réalisation concrète, ils ne se sentiront pas forcément obligés de remettre en cause la perpendicularité des structures initialement conçues comme orthogonales ! » (on retombe ici sur tout ce qu'on avait constaté avec « l'activité en or » !).

Actuellement donc, nos enseignements mathématiques sont tels que nos interlocuteurs ne sont pas prêts à se révolter contre une preuve qui produit de l'absurdité et cette passivité vis-à-vis de la preuve demeure quel que soit le registre dans lequel on interprète le résultat (i.e. que l'on interprète le résultat ainsi « prouvé » dans le registre du mathématicien ou dans un autre registre que celui des mathématiques proprement dites).

Nos élèves/étudiants sont en général au contraire très « tolérants » là où il faudrait à notre avis ne pas l'être (pour des raisons éthiques évidentes) : beaucoup d'élèves par exemple ne sont pas spontanément prêts à revenir sur leurs pas lorsqu'ils se retrouvent face à un raisonnement qui débouche sur l'affirmation insupportable « $2 = 3$ » !!! et contrairement à ce qu'on espère toujours, ça ne s'arrange pas à l'usage, car d'une certaine façon plus ils sont âgés, plus ils se sont habitués à ne pas se révolter contre l'absurdité d'une écriture mathématique !

Comme nous l'avons déjà signalé, il nous faut en général plus d'un mois au début de chaque année en licence de math. par exemple et même bien au delà pour installer avec un nouveau groupe d'étudiants un principe de contradiction capable d'auto-réguler le débat, i.e. pour que lorsqu'un raisonnement laisse soupçonner que l'on va déboucher sur une contradiction, on (beaucoup d'étudiants) s'attache spontanément à forcer le trait, donc à l'écrire sous la forme insupportable « $2 = 3$ » et qu'alors, sans qu'il soit nécessaire d'en référer au professeur et d'en débattre, il soit clair pour tous ou presque et pas seulement pour le professeur et pour quelques élèves « qu'on ne peut pas en rester là ! qu'il nous faut absolument comprendre à quel endroit on a fait une ou des hypothèses abusives ou bien un ou des raisonnements erronés ! »

Nous faisons ici l'hypothèse que la culture scientifique que la plupart des élèves/étudiants se sont constituée au fil des années d'études en suivant des démonstrations effectuées quasi exclusivement par le professeur seul (donc des démonstrations où tout marche bien sans qu'on sache pourquoi et sans avoir le temps de se poser la question de la pertinence et de la vérité de ce qui est magistralement énoncé), les a habitués à faire régulièrement par nécessité didactique des compromis énormes (voire des impasses totales) avec la recherche de pertinence et de vérité d'une preuve.

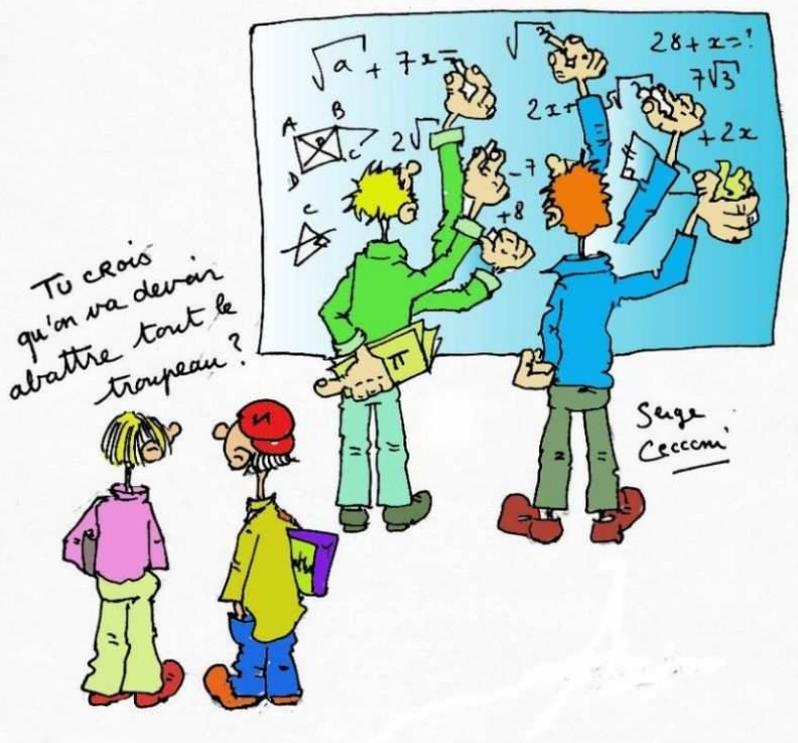
En particulier, pour arriver à survivre (à simplement copier) l'exposé magistral de démonstrations qui vont toujours beaucoup trop vite (même si le professeur a le sentiment qu'il va lentement, il ne peut pas problématiser sa démonstration à la place de ses interlocuteurs !) ils ont dû s'interdire constamment de se poser les questions essentielles pour donner sens à une preuve : *qu'est-ce qu'on démontre au juste ? Est-ce plausible ? Ce procédé de preuve est-il pertinent, valide ? Suis-je persuadé par ce qui m'est déclaré comme allant de soi, comme évident ? etc. etc...*

Quelques élèves/étudiants d'exception reprennent ces démonstrations avec un regard neuf lorsqu'ils se retrouvent seuls. Ils problématisent alors ces démonstrations qu'ils ont acceptées de facto en cours, car faute de temps et de problématisation initiale ils les ont plus copiées que réellement comprises dans leurs grandes lignes.

En essayant de comprendre sur le fond ce qu'on démontre, à quel endroit on démontre l'essentiel et comment on y parvient, ils découvrent alors l'intérêt/l'utilité de se poser ces questions épistémologiques de base, mais la plupart de ces sujets épistémiques se sentent trop dépassés, ils se sont trop habitués et depuis très longtemps à ne plus chercher de cohérence devant des choix et décisions que le professeur fait à leur insu car ils estiment (à juste titre dans les contrats classiques) que la compréhension de ces choix et de leurs raisons n'aura que très peu d'incidence sur leur réussite scolaire.

Ils poursuivent ainsi et amplifient l'attitude irresponsable de l'âge du capitaine observée en CE1-CE2 : lorsque Paul déclare « *c'est ta faute, tu ne m'as pas donné les bons nombres!* », il affirme avec force n'être en charge ni du sens, ni de la pertinence de la déclaration qu'il effectue sur son âge, mais seulement de l'exactitude des opérations que ce professeur semble suggérer avec ses questions idiotes, *et malheureusement cette irresponsabilité « infantile » ne disparaît pas avec les années d'études, au contraire elle paraît à certains élèves/étudiants chaque année un peu plus justifiée s'ils veulent ne pas se faire remarquer de façon négative afin de survivre et/ou de réussir en ne transgressant pas le contrat didactique tacite qui les lie au professeur et qui varie peu d'un professeur à l'autre sur ce point.*

Quand nous tentons d'initier une forme de « débat scientifique » dans une classe ou un amphi, il apparaît souvent que plus les protagonistes potentiels sont « vieux dans le système scolaire » et y ont très honorablement réussi, *moins ils osent réagir avec force devant ce qui devrait leur poser un problème de sens insupportable et plus ils arrivent facilement à être en accord de rationalité* avec ce qui est proposé et est manifestement absurde, du moment que cela s'énonce dans un formalisme qui tient lieu d'apparente logique et du moment aussi que cela ne reçoit pas de désapprobation manifeste de la part de l'enseignant. Par suite, il faut beaucoup de temps et de non implication directe du professeur au moment où des contradictions surgissent dans les débats, pour qu'une masse critique d'élèves/étudiants comprennent que cette neutralité du professeur ne signifie plus pour eux approbation tacite et qu'ils commencent alors à oser se réapproprier spontanément un début de responsabilité intellectuelle sur le sens, la pertinence et la non contradiction de ce qui s'énonce dans la classe ou l'amphi, pour que spontanément certains osent dire « *je ne suis pas d'accord !ceci n'est pas possible ... parce que ...!* »



8) Les équations infinitésimales ou l'éloge des vertus pédagogiques des cercles vicieux en thèse !

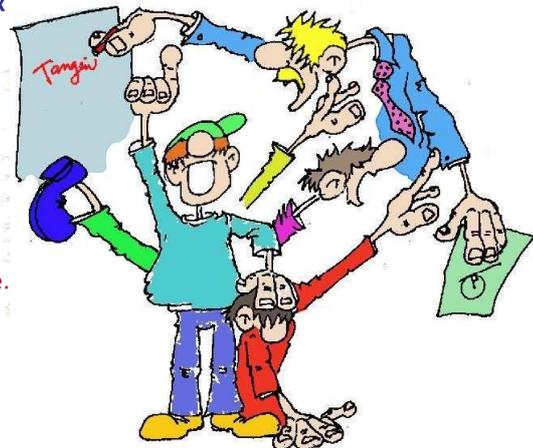
Comme pour « le jean » nous sommes ici avec des moniteurs en formation en didactique. Il s'agit d'une situation qui prend environ deux heures et pour laquelle nous regroupons une cinquantaine de moniteurs exclusivement en thèse de math. ou de physique car le sujet est plus pointu que dans la situation du « jean » ; nous sommes donc assurés que presque tous ces moniteurs qui sont passés par des classes préparatoires ont rencontré ces procédures infinitésimales à plusieurs reprises tant en math. qu'en physique ou en mécanique etc.

Pour les faire réfléchir au problème de la construction du sens des savoirs fondamentaux, nous les invitons au cours d'un stage de trois jours à participer d'abord à un premier « débat scientifique » en grand groupe sur la situation ci-après, afin qu'ils intériorisent suffisamment les ressorts épistémologiques et cognitifs de ce type de débat pour pouvoir tenter ensuite de construire eux-mêmes les deux jours suivants par petits groupes de 5 ou 6 des situations de « débat scientifique » sur des sujets qu'ils choisissent eux-mêmes, situations didactiques que chaque sous-groupe expérimente à la fin du stage en prenant pour élèves le groupe des autres moniteurs.

Comme pour le « jean » nous commençons donc par rappeler brièvement les règles du « débat scientifique » en cours à partir de la diapo suivante :

Les règles du « débat scientifique »

- 1^{ère} phase = **débat privé** (quelques minutes)
vous pouvez discuter (du sujet) **avec qui vous voulez...**
dans le but de vous forger une **opinion personnelle**
 - un **vote**
vous vous déterminez **personnellement** en fonction des réponses proposées,
en étant **capable de justifier votre choix**
 - 2^{ème} phase = **débat public**
vous **défendez votre point de vue**
en donnant vos arguments à vos collègues (et non à moi), pour les **convaincre**.
- Le **débat privé** est alors **interdit**,
tout comme la critique non constructive.



Puis nous entrons dans la situation proprement dite en distribuant les feuilles ci-après et en donnant les consignes suivantes :

Voici trois façons de calculer le volume d'une sphère ou l'aire latérale d'un cylindre par une méthode différentio-intégrale.

Pour chacune d'elles, vous devez prendre **une des trois positions** :

OK ! // 50 % // NON

" OK !" signifie : "pour l'essentiel ça me convient, je pourrais présenter les choses comme cela !"

" 50 %" signifie : "pour l'essentiel ça me convient, mais.. j'ai quelques réticences avec..."

" NON!" signifie : "ça ne va pas du tout, je n'écrirais jamais les choses ainsi !"

Première situation : calcul du volume de la sphère

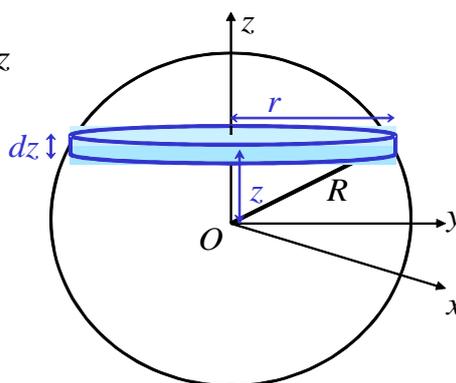
I – Pour calculer le volume V d'une sphère de rayon R , on la découpe en tranches élémentaires parallèles au plan (xOy) .

Le volume dV d'une tranche de petite épaisseur dz située à l'altitude z est donné par :

$$dV = \pi \cdot r^2 \cdot dz = \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz$$

Le volume total V est donc

$$\begin{aligned} V &= \int_{-R}^{+R} \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz \\ &= \frac{4}{3} \pi R^3 \end{aligned}$$



OK // 50 % // NON

Deuxième situation : calcul de l'aire latérale du cylindre

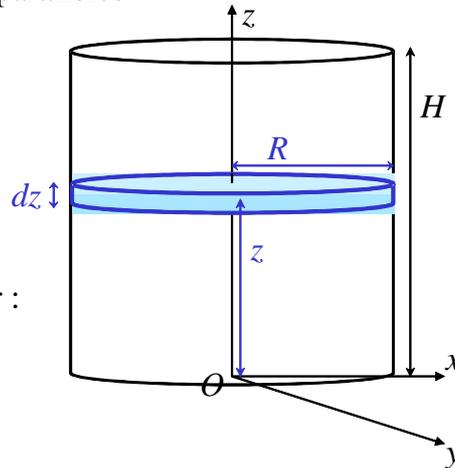
II – Pour calculer l'aire latérale du cylindre de rayon R et de hauteur H , on découpe de même en tranches élémentaires parallèles au plan (xOy) .

L'aire latérale dS d'une tranche de petite épaisseur dz située à l'altitude z est :

$$dS = 2\pi \cdot R \cdot dz$$

L'aire totale est donc donnée par :

$$S = \int_0^H 2\pi \cdot R \cdot dz = 2\pi RH$$



OK // 50 % // NON

Troisième situation permettant de déterminer d'une autre façon le volume de la sphère :

III – Pour calculer le volume V de la sphère de rayon R , on peut aussi découper la demi-sphère supérieure en n tranches C_i de même épaisseur Δz . Le volume ΔV_i de la tranche C_i située à l'altitude z_i et d'épaisseur Δz est donné par :

$$\Delta V_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot \Delta z + \varepsilon_i$$

Comme

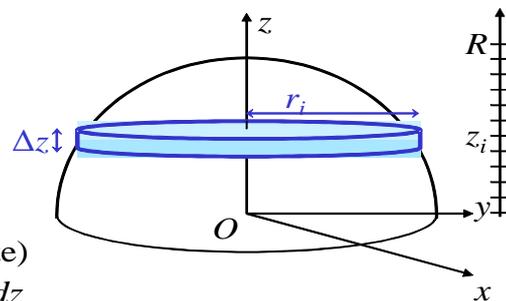
$$\begin{aligned} \varepsilon_i &\leq \pi \cdot (2z_i \cdot \Delta z + (\Delta z)^2) \cdot \Delta z \\ &\leq \text{constante} \cdot (\Delta z)^2 \end{aligned}$$

on a donc (par passage à la limite)

$$dV_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot dz = \pi \cdot (R^2 - z_i^2) \cdot dz$$

Le volume total V est donc

$$V = 2 \cdot \int_0^R \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz = \frac{4}{3} \pi R^3$$



OK // 50 % // NON

Tableau des pourcentages moyens des votes des moniteurs pour ces trois situations

Opinions individuelles	OK	50%	Non
I Volume de la sphère	70%	25%	5%
II Aire latérale du cylindre	80%	10%	10%
III Volume de la sphère	5%	10%	85%

a. Commentaire épistémologique à partir de cette première mise en équation infinitésimale.

I – Pour calculer le volume V d’une sphère de rayon R , on la découpe en tranches élémentaires parallèles au plan (xOy) .

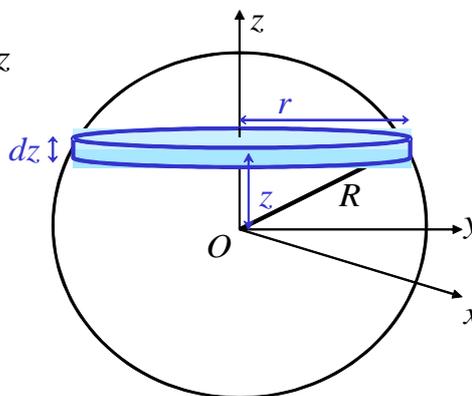
Le volume dV d’une tranche de petite épaisseur dz située à l’altitude z est donné par :

$$dV = \pi \cdot r^2 \cdot dz = \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz$$

Le volume total V est donc

$$V = \int_{-R}^{+R} \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz$$

$$= \frac{4}{3} \pi R^3$$



OK // 50 % // NON

On peut remarquer que le résultat du calcul est exact, que la méthode est à la fois géniale (réduction de la complexité) et classique (calcul différentialo-intégral), elle nous éclaire sur une certaine façon d'utiliser le découpage en tranches d'un objet complexe comme une sphère pour ramener le calcul complexe de son volume au calcul du volume d'un objet plus « élémentaire » : le cylindre.

Mais sur un plan scientifique, si comme cela est fait dans cette première mise en équation du problème, on ne se donne aucun moyen pour contrôler l'ordre de grandeur de ce qu'on décide de ne pas calculer (i.e. la différence de volume entre une rondelle hémicylindrique et la rondelle cylindrique correspondante) cette procédure est de la « magie pure » car en utilisant le mot mystérieux « petit » ou « infiniment petit » on nous présente le « volume infinitésimal d'une tranche dV » comme un calcul exact alors qu'il ne l'est pas !

Toute la force de cette procédure est de réduire la complexité initiale en effectuant les calculs sur un modèle assez simple pour qu'on sache les faire, mais la question scientifique que l'on doit immédiatement se poser est alors : **le modèle est-il assez fidèle pour que la**

différence de volume entre modèle et réel (qu'on n'envisage pas de calculer de façon exacte car ce calcul serait en lui-même aussi complexe si ce n'est davantage que le calcul direct du volume de la sphère) **puisse être tenue pour « négligeable » quand le découpage s'affinera.**

Toute la fiabilité de ce découpage en tranches tient au fait de savoir si le volume qu'on néglige sur chaque tranche et qui est forcément petit (puisque les tranches sont de plus en plus minces) va rester petit quand on empilera toutes les erreurs (de plus en plus nombreuses quand le découpage s'affine) effectuées sur chaque tranche.

La question cruciale est donc : peut-on majorer la différence entre le volume qu'on calculera par un passage à la limite intégrale sur le modèle (i.e. la limite des sommes des volumes des tranches cylindriques) et le volume de la sphère complète (i.e. la somme du volume de toutes les tranches qui sont hémicylindriques) ?

Que la somme du volume des tranches cylindriques tende vers l'intégrale quand le découpage s'affine relève directement de la théorie de l'intégrale de Riemann (si la fonction sur laquelle on tombe en faisant le calcul sur chaque tranche du modèle est intégrable, il n'y a rien à contrôler à ce niveau puisque la théorie de l'intégrale effectue ce contrôle) mais par contre, que la somme des volumes des différences entre une tranche de sphère et la tranche de cylindre correspondante tende vers zéro quand le découpage s'affine apparaît seulement comme plausible sur le dessin, mais n'a rien d'évident et doit donc être contrôlé par une majoration ou un calcul d'ordre de grandeur (ce qui sera fait assez proprement dans la mise en équation III bien que cette mise en équation soit assez elliptique dans la mesure où les calculs exacts sont effectués sans être suffisamment commentés).

La réponse qualitative en terme d'ordre de grandeur à cette question cruciale est alors :

- si ce qu'on néglige sur chaque tranche est du second ordre (c'est le cas ici, mais on ne le vérifie pas), les erreurs disparaîtront et le calcul global sera rigoureusement exact quand on « empilera les erreurs » et passera à la limite intégrale ;
- si par contre, ce qu'on néglige reste du premier ordre, on risque fort d'obtenir « n'importe quoi ! » puisque l'empilement des erreurs pourra être égal voire très supérieur à ce qu'on aura « empilé » dans l'intégrale (c'est le cas de la quatrième situation que l'on présente ici après l'étude des trois premières, la situation du cône dans laquelle un raisonnement identique en tout point à celui-ci permet alors de **prouver magistralement que « $\pi = 0$ » !**

Le comportement moyen sur une quinzaine d'années de plus de 500 moniteurs de math/physique vis-à-vis de cette première situation est le suivant :

Le vote et les arguments des moniteurs sont invariablement les mêmes :

- « OK ! » est choisi par environ 70% des moniteurs, avec pour arguments principaux : « c'est clair ! c'est exact ! c'est simple ! c'est le bon résultat ! »
- « 50% » est choisi par environ 25%, avec pour arguments principaux : « le calcul de dV n'est pas exact, il manque un petit bout, mais ça marche quand même ! En fait on pourrait dire que les erreurs peuvent se compenser par symétrie !..... »
- « NON ! » est toujours choisi par moins de 5% des moniteurs avec pour argument principal « c'est pas l'erreur sur chaque morceau qui compte mais leur somme ! ».

Certains moniteurs évoquent un vague souvenir « *qu'il existe des situations où ça ne marche pas aussi bien qu'ici !* »

Mais aucun de ces moniteurs (sur plus de 500) n'a jamais proposé spontanément à ses pairs un ordre de grandeur de ces approximations infinitésimales pour lequel la procédure serait très probablement une sorte de « foutaise » et un ordre de grandeur à partir duquel on pourra au contraire être certain que « ça marche ! ».

Deuxième situation : calcul de l'aire latérale du cylindre s'appuyant sur... la connaissance de...« l'aire latérale du cylindre !!! »...

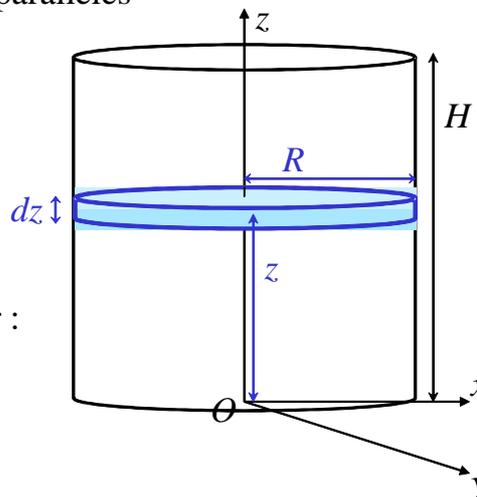
II – Pour calculer l'aire latérale du cylindre de rayon R et de hauteur H , on découpe de même en tranches élémentaires parallèles au plan (xOy) .

L'aire latérale dS d'une tranche de petite épaisseur dz située à l'altitude z est :

$$dS = 2\pi \cdot R \cdot dz$$

L'aire totale est donc donnée par :

$$\begin{aligned} S &= \int_0^H 2\pi \cdot R \cdot dz \\ &= 2\pi RH \end{aligned}$$



OK // 50 % // NON

b. Commentaire sur cette deuxième mise en équation infinitésimale.

On peut observer qu'il n'y a plus d'approximations « et pour cause ! » puisque la procédure est ici doublement calamiteuse :

- d'abord elle est inutile dans la mesure où rien ne varie (***problème de consistance épistémologique des concepts : l'intégrale n'a pas été inventée pour calculer la surface d'un rectangle !***)

- ensuite ***on ne démontre rien mais on fait semblant de le faire*** dans la mesure où ***on se sert du résultat final pour l'établir...*** « grâce à l'intégrale » !

Ce qui est très impressionnant de constater tous les ans que depuis une quinzaine d'années le vote et les arguments des moniteurs sont invariablement les mêmes :

- « OK! » est plébiscité par environ 80% des moniteurs avec pour argument principal : « ***c'est plus rigoureux*** car il n'y a plus les approximations comme dans le cas précédent » (et il n'y a jamais de réaction très violente d'au moins quelques-uns devant cette hérésie « ***c'est plus rigoureux !*** »)
- « 50% » est choisi par moins de 10% à 15% avec pour arguments : « je ne vois pas pourquoi utiliser une intégrale ici, il n'y a qu'à calculer directement la surface d'un rectangle ! »
- « NON! » (entre 5% et 10% , mais jamais plus de 20%) avec pour argument (non décisif pour le groupe) : « ***il me semble qu'on utilise le résultat final dans le calcul d'une tranche!*** »

Ce qui est terrible c'est de devoir observer chaque année (de devoir continuer à noter au tableau les arguments proposés sans réagir sur leur sens ou leur validité) que ce faux raisonnement garde toute sa valeur pour beaucoup de moniteurs, bien que certains soient intervenus pour dire « qu'il ne sert à rien! », « qu'il ne prouve rien! », « qu'il repose sur une faute de raisonnement » bien identifiée dans la communauté.

Ce raisonnement « vicieux » donc, plébiscité au départ, continue à rester très acceptable, après débat entre pairs, souvent pour plus de la moitié de ces thésards :

« Il n'est pas faux ! » disent ses défenseurs « car il ne comporte pas de contradiction en soi puisqu'on retrouve à la sortie la formule mise en entrée! » (sic!)

« Il est pédagogique » disent d'autres moniteurs, « il montre dans un cas simple, comment marche cette procédure » !!!

Troisième situation permettant de déterminer de façon rigoureuse mais maladroite et trop elliptique le volume de la sphère à partir de la connaissance du volume du cylindre

III – Pour calculer le volume V de la sphère de rayon R , on peut aussi découper la demi-sphère supérieure en n tranches C_i de même épaisseur Δz . Le volume ΔV_i de la tranche C_i située à l'altitude z_i et d'épaisseur Δz est donné par :

$$\Delta V_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot \Delta z + \varepsilon_i$$

Comme

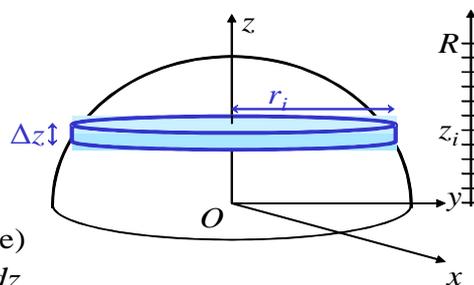
$$\begin{aligned} \varepsilon_i &\leq \pi \cdot (2z_i \cdot \Delta z + (\Delta z)^2) \cdot \Delta z \\ &\leq \text{constante} \cdot (\Delta z)^2 \end{aligned}$$

on a donc (par passage à la limite)

$$dV_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot dz = \pi \cdot (R^2 - z_i^2) \cdot dz$$

Le volume total V est donc

$$V = 2 \cdot \int_0^R \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz = \frac{4}{3} \pi R^3$$



OK // 50 % // NON

c. Commentaire sur cette troisième mise en équation infinitésimale.

Ce raisonnement qui comporte quelques maladresses puisqu'il mélange deux notations (discrète avec les i et continue avec les z) est **fondamentalement exact** puisqu'il se soucie (enfin) de prouver par des majorations correctes que l'approximation est bien du second ordre, c'est de notre point de vue le seul raisonnement **rigoureux parmi les trois**, car c'est le seul qui se **préoccupe de donner des preuves là où il le faut, i.e. « là où tout peut dérapier ! »**.

Le résultat du vote fluctue un peu plus que dans les deux cas précédents suivant les années :

- « OK » (de 2% à 10%) avec pour arguments : « *il se préoccupe de l'erreur !* »
- « 50% » (de 5% à 15%) avec pour arguments : « *il se préoccupe de l'erreur, mais ce n'est pas très clair, les calculs ne sont pas effectués* ».
- « NON » (de 75% à 93%) avec pour arguments : « *pas clair! pas rigoureux! les calculs ne sont pas effectués!* »

Dans le débat, les partisans de « OK! » n'arrivent pas à faire valoir la rigueur de la démarche, au contraire beaucoup de leurs pairs ripostent : « *il ne faut pas faire des raisonnements aussi lapidaires !* », « *si un étudiant me propose une telle rédaction, je la sanctionnerai car je crains qu'il ne triche, qu'il ne répète ici ce qu'il a vu ailleurs car il ne justifie pas ses calculs!* » (sic!)

Après le débat (1h) sur ces trois mises en équation, nous proposons une quatrième et dernière situation en précisant que cela doit aller assez vite car elle ressemble beaucoup à la première.

Quatrième situation : détermination (non pertinente) de l'aire latérale du cône à l'aide de la procédure qui s'est révélée si efficace pour déterminer le volume de la sphère

IV – En suivant une procédure analogue, pour calculer l'aire latérale d'un cône de hauteur H et de base circulaire de rayon R , on peut découper le cône en tranches élémentaires parallèles à (xOy) .

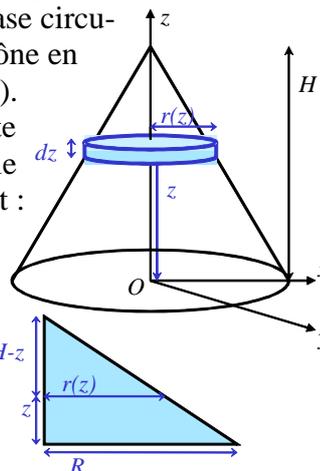
L'aire latérale dS d'une tranche de petite épaisseur dz située à l'altitude z est celle du cylindre de rayon $r(z)$ correspondant :

$$dS = 2\pi \cdot r(z) \cdot dz$$

Par Thalès, on obtient $\frac{r(z)}{R} = \frac{H-z}{H}$

L'aire latérale totale S est donc

$$S = \int_0^H 2\pi \cdot R \cdot \frac{H-z}{H} \cdot dz = \pi RH$$



On retrouve ainsi que l'aire latérale du cône est la moitié de l'aire latérale du cylindre de même base et même hauteur.

OK // 50 % // NON

d. Commentaire sur cette dernière mise en équation infinitésimale.

On remarque que la procédure est identique à la première mais que, comme ici l'erreur non contrôlée sur chaque tranche (on confond l'hypoténuse et le côté de l'angle droit) est du premier ordre, on obtient par cette procédure abusive une « magnifique formule manifestement fausse ».

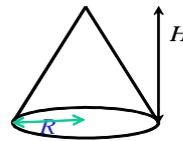
En effet, quand $H \rightarrow 0$, l'aire latérale du cylindre tend vers zéro alors que l'aire du cône tend vers l'aire du disque, « donc » : « $\pi R^2 = 0$, et ce même si $R = 1$ et $\pi > 3$ » !

Le résultat du vote et les arguments sont très stables :

- « OK! » est adopté par environ 70% avec pour arguments : mêmes raisons qu'en (I)
- « 50% » environ 10% avec pour arguments : mêmes raisons qu'en I + « je ne connaissais pas cette formule ».
- « NON » environ 20% avec pour arguments : « il nous semble que la formule est fausse! »

Dans le débat, les partisans du « NON » ont du mal à se faire entendre, même quand ils proposent une preuve dynamique extrêmement parlante qui consiste à procéder à « l'écrasement du chapeau chinois » qui revient à faire tendre H vers 0 :

Comme $A(H)$
représente l'aire
latérale de ce cône



$$A(H) \rightarrow \pi R^2 \text{ si } H \rightarrow 0$$

Comme $B(H)$
représente l'aire latérale
de ce cylindre



$$B(H) \rightarrow 0 \text{ si } H \rightarrow 0$$

$$\text{SI } A(H) = B(H)/2$$

on aura par passage à la limite

$$\pi R^2 \neq 0 \text{ quelque soit } R \quad ???????????$$

Beaucoup de moniteurs n'acceptent pas cet argument comme prouvant la fausseté de la formule obtenue :

« un tel argument par passage à la limite n'est pas une preuve mathématique !! »

« A-t-on le droit de faire tendre H vers zéro ? »

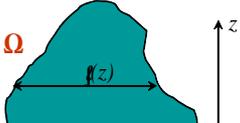
« La formule n'est pas valide pour $H = 0$!!! »

Une fois les quatre débats achevés (environ 1h30) nous proposons l'institutionnalisation suivante :

Institutionnalisation
au sujet des procédures infinitésimales

Une procédure infinitésimale est utile pour évaluer une grandeur G d'un objet Ω
 (par ex. G = longueur, aire, volume, masse, travail, potentiel, etc.)
 lorsque le calcul de cette grandeur **NE PEUT PAS SE FAIRE SIMPLEMENT**
 car G dépend d'un paramètre f qui varie dans l'objet.

Ici G = Aire ou Volume d'un objet Ω dont "l'épaisseur" $f(z)$ varie en fonction de l'altitude z

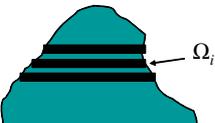


La procédure infinitésimale est INUTILE
 si le paramètre ne varie pas
 (comme dans le cas de l'aire latérale du cylindre)



Philosophie de la procédure infinitésimale

découper Ω en tranches Ω_i assez fines pour que sur chaque tranche le paramètre "ne varie quasiment plus"!



La procédure est efficace
 - si sur chaque tranche Ω_i , la grandeur partielle G_i de la tranche se calcule facilement,
 (par exemple $G_i = \xi_i \cdot h$)
 - et si en augmentant le nombre de tranches la somme des calculs partiels effectués sur chaque tranche **approxime de mieux en mieux le résultat global** :
 quand $n \rightarrow \infty$, alors $\sum_1^n G_i \rightarrow G$



Problème de compréhension

Nous avons appliqué la même procédure infinitésimale

- au calcul du volume de la sphère,
- au calcul de l'aire latérale du cône;

dans le premier cas "ça marche"... **Euréka!**
 dans le second "ça ne marche pas!"
 cela aboutit à dire que "1 = 0"... **Catastrophe!**

Pourquoi ?

Pourquoi ?



Un peu d'histoire de la didactique classique de cette procédure (suite)

le professeur poursuit donc

- en écrivant : $dG = f(z) \cdot dz$

où $f(z)$ est ce qu'on « arrive à calculer » quand on cherche à évaluer « l'essentiel » de ce qui correspond à une tranche située à l'altitude z et d'épaisseur dz (exemples I et IV pour la sphère et le cône)

- puis il passe de $\sum dG$ à $\int f(z) \cdot dz$

en évoquant la théorie de l'intégrale.



Le glissement symbolique du signe \sum au signe \int
a le pouvoir "magique" de résorber
tous les conflits sémantiques

(d'autant mieux qu'ils n'ont pas été mis en exergue!)

Un peu d'histoire de la didactique classique de cette procédure (suite et fin)

La théorie de l'intégrale ayant été évoquée pour justifier ce passage délicat



on peut maintenant achever ce "rite intégrale" avec la participation active des élèves/étudiants : on cherche ensemble une primitive F de f et on conclut que $G = F(b) - F(a)$.

Ce calcul exact effectué ensemble permet de ne pas se poser la question cruciale : "les paradoxes et contradictions rencontrés et passés sous silence ne pourraient-ils pas affecter la pertinence des calculs exacts effectués ensuite!"

Pour comprendre, affrontons les paradoxes et les contradictions

car des paradoxes et des contradictions
il y en a beaucoup ici !!!

Si nous ne les affrontons pas,
nous "connaîtrons" une procédure
qui marche dans certains cas...
et ...pas dans d'autres...
sans que nous ayons les moyens de le prévoir !
Nous disposerons alors d'un outil
non scientifique !

1^{er} paradoxe

disparition des ennuis = disparition de matière

Si tranche d'épaisseur nulle : _____
plus d'ennuis
car le paramètre gênant ne varie plus,
mais alors.....

plus de matière !!!

Que vaut « une somme infinie de...riens » ?

$$G = \sum 0 = ????$$

Pour contourner cette difficulté

on remet de la matière → on recrée des ennuis

- **Si tranche d'épaisseur NON nulle** (pour retrouver de la matière) :
le paramètre gênant **varie toujours un peu**



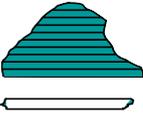
le calcul exact sur la tranche redevient impossible

sauf si la procédure est inutile !!!

Ce qui n'est "jamais" dit explicitement :
(pour ne pas affronter les paradoxes)

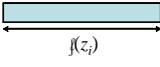
Si on découpe Ω en un grand nombre de tranches Ω_i , leur épaisseur commune Δz deviendra petite mais ne sera "jamais nulle"!

Problème : quelle que soit la finesse du découpage, le calcul local exact est impossible!



Pour dépasser ce paradoxe, on construit un modèle

tel que le calcul $G_i^{Modèle}$ de la grandeur G soit facile à effectuer sur chaque tranche du modèle !

Par ex.
 $G_i^{Modèle} = f(z_i) \cdot \Delta z_i$ $\Delta z_i \downarrow$ 

Si on est intellectuellement honnête



on reconnaît alors que

Mesure du Réel \neq Mesure du Modèle

$$G = \sum_1^n G_i \quad G^{Modèle} = \sum_1^n G_i^{Modèle}$$

On n'exclut pas qu'elles puissent même être très différentes!

Pour demeurer scientifique

sur chaque tranche Ω_i on écrit donc qu'une **erreur de mesure ϵ_i** se crée entre réel et modèle :

$$G_i = G_i^{Modèle} + \epsilon_i$$

Comme $G = \sum_1^n G_i$

on aura donc $G = G^{Modèle} + \left(\sum_1^n \epsilon_i \right)$ **Erreur totale**

Ce qu'on attend de cette idée de génie !

En augmentant indéfiniment le nombre de tranches

- l'épaisseur de chaque tranche va devenir **très petite**,
- l'erreur sur chaque tranche va donc devenir **de plus en plus petite** (infiniment petite!),

"on peut donc espérer qu'en passant à la limite ... l'erreur totale devienne **quasi nulle**!"

2nd paradoxe ou "plus ça va.... moins ça va !?"

Si on augmente le nombre de tranches :

- l'épaisseur de chaque tranche devient de plus en plus petite, donc l'erreur sur chaque tranche devient de plus en plus petite aussi (**fait positif**!) mais...
- le nombre des erreurs augmente (**fait négatif**!) **Quid de leur somme ?**

Le modèle se rapproche-t-il de la réalité ou au contraire s'en éloigne-t-il ??

Suppression abusive du 2nd paradoxe
 avec un raisonnement de "physicien" qui peut tuer...

Si on augmente indéfiniment le nombre de tranches :

- l'épaisseur de chaque tranche devient **infiniment petite**,
- l'erreur sur chaque tranche devient donc **infiniment petite**,

"donc" ...
l'erreur totale est *infiniment petite* !!!

Suppression abusive du 2nd paradoxe
avec un raisonnement de "mathématicien" qui peut tuer...

Si le nombre de tranches $n \rightarrow \infty$
alors $\Delta z_i \rightarrow 0$ et par suite $\varepsilon_i \rightarrow 0$

"donc"

$$\sum_1^n \varepsilon_i \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0$$

L'erreur totale devient nulle
quand on passe à la limite !!!

Observation en or !

Voici trois types d'erreurs "localement négligeables" ! :

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0 \quad \frac{1}{n} \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0 \quad \frac{1}{n^2} \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0$$

Ces trois quantités sont donc négligeables !

Si maintenant on fait la somme de n de ces trois quantités, ces sommes vont-elles rester négligeables ?

$$\sum_1^n \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{n}{\sqrt{n}} = \sqrt{n} \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} +\infty \quad \text{« erreur globale monumentale »}$$

$$\sum_1^n \frac{1}{n} = \frac{n}{n} = 1 \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 1 \quad \text{« erreur globale incompressible »}$$

$$\sum_1^n \frac{1}{n^2} = \frac{n}{n^2} = \frac{1}{n} \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0 \quad \text{« l'erreur globale disparaît par passage à la limite, car l'erreur locale est du 2nd ordre »}$$

Cette observation pointe une grande incohérence
dans l'argumentation mathématique :

Quand le nombre de tranches $n \rightarrow \infty$,
dire que "l'erreur de mesure locale ε_i devient infiniment petite" est exact, mais...

ne mentionner que cela ne suffit pas à assurer
la pertinence du calcul, car...
on vient de voir que la somme des erreurs

$$\sum_1^n \varepsilon_i \xrightarrow{n \rightarrow +\infty} 0 \quad ???$$

Les calculs exacts effectués dans le modèle (y compris l'intégrale) peuvent être sans aucun rapport avec le réel !
(C'est ce qui se produit dans la situation IV de l'aire latérale du cône)

Il y a aussi une grande incohérence
dans l'argumentation physique sur l'erreur

Quand on écrit $\Delta G_i = \Delta G_i^{\text{Modèle}} + \text{erreur}$
avec comme seule justification de l'approximation
"l'erreur devient très petite" (lorsque le découpage s'affine),
on est **physiquement** incohérent car cela laisse penser que
"puisque l'erreur ε_i est petite, ce qui est évalué dans le
modèle $\Delta G_i^{\text{Modèle}}$ représente l'essentiel !"

Or rien ne garantit cela puisque ici toutes les grandeurs

Δz_i et ε_i mais aussi $\Delta G_i^{\text{Réel}}$ et $\Delta G_i^{\text{Modèle}}$ sont infiniment petites !!!

Pourquoi donc vouloir garder $\Delta G_i^{\text{Modèle}}$ et s'autoriser à
"jeter" ε_i au seul prétexte qu'il devient infiniment petit ?!

Pour dépasser ce paradoxe

il faut donc impérativement déterminer l'ordre de
grandeur de ce qu'on "jette" et de ce qu'on "garde"
sur chaque tranche quand le découpage s'affine.

$$G_i^{\text{Modèle}} \gg \varepsilon_i$$

ce que l'on garde ce que l'on jette

Comme $G_i^{\text{Modèle}}$ est du
« premier ordre » en Δz :

$$G_i^{\text{Modèle}} = f(z) \cdot \Delta z$$

Il faut donc que ε_i soit du
« second ordre » en Δz :

(Par exemple)

$$\varepsilon_i(\Delta z) = 10^{15} \cdot (\Delta z)^{\frac{3}{2}}$$

La procédure différentialo-intégrale

(découper en tranches, approximer sur chaque tranche,
sommer et passer à la limite en rétrécissant les tranches)
n'est donc physiquement et mathématiquement
cohérente que si l'erreur dans la modélisation
effectuée sur chaque tranche est

du second ordre,

i.e. négligeable par rapport à l'épaisseur de la tranche.

Sinon, ce qu'on néglige
peut être égal voire très supérieur
à ce qu'on prend en compte !!!

En pratique : découpage différentiel

- Choisir un repère tel que par ex. l'objet Ω soit au dessus du plan xoy, $G(z)$ représente alors la mesure de la grandeur G de la partie de Ω située en dessous de l'altitude z .

Chaque tranche $\Delta\Omega$ est alors la partie de Ω située entre z et $z + \Delta z$
On a donc $\Delta G = G(z + \Delta z) - G(z)$.

- Si on parvient à écrire $\Delta G = f(z) \cdot \Delta z + \varepsilon(\Delta z)$

il suffit alors de majorer $|\varepsilon(\Delta z)|$ (et non le calculer!).

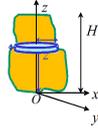
- Si on montre que l'erreur est du 2nd ordre en Δz

(par exemple : $|\varepsilon(\Delta z)| < \text{constante} \cdot (\Delta z)^2$),

alors la théorie de l'intégrale nous assure que :

$$G = \int_0^H f(z) \cdot dz + 0 = F(H) - F(0)$$

pour une quelconque primitive F de f .



Vigilance épistémologique

Des quatre mises en équation proposées, seule la méthode proposée en III avait une réelle vigilance épistémologique

L'essentiel y était bien épinglé ... même si l'origine des écritures n'était pas suffisamment explicitée. En effet on trouvait :

- Le volume ΔV d'une tranche située à l'altitude z d'épaisseur Δz est donné par $\Delta V = \pi \cdot r^2(z) \cdot \Delta z + \varepsilon(\Delta z)$ (vol. du cylindre + erreur).

- L'erreur $\varepsilon(\Delta z)$ est majorée (par la différence de volume de deux cylindres de hauteur Δz et de rayons respectifs $r(z + \Delta z)$ et $r(z)$)

$$|\varepsilon(\Delta z)| \leq \pi \cdot (2z \cdot \Delta z + \Delta z^2) \cdot \Delta z.$$

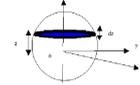
- En majorant z et Δz par R on obtient donc :

$$|\varepsilon(\Delta z)| \leq \pi \cdot 3 R \cdot \Delta z^2 \leq \text{constante} \cdot \Delta z^2$$

donc $\varepsilon(\Delta z)$ négligeable devant Δz .

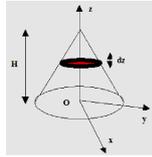
On a donc $dV/dz = \pi \cdot r^2(z)$

Le volume total V est donc $V = 2 \cdot \int_{[0+R]} \pi \cdot (R^2 - z^2) \cdot dz$



Par contre, pour la mise en équation du cône le manque de vigilance épistémologique tourne au désastre.

Pour évaluer l'aire latérale ΔS , on prend l'épaisseur Δz au lieu de prendre la largeur Δl .



L'erreur ε commise est de l'ordre de $(\Delta l - \Delta z) 2 \pi R$.

$$\varepsilon \approx \Delta z \cdot [2 \pi R \cdot (1/\cos(\theta) - 1)]$$

donc un infiniment petit de l'ordre de Δz (si $\theta \neq 0$).

On voit même que si $\theta \rightarrow \pi/2$, cette erreur ("ce qu'on jette") devient infiniment grand devant ce qu'on garde " $2 \pi R \Delta z$ " ce qui explique le résultat aberrant obtenu en "écrasant le cône" : $\pi R^2 = 0$ quel que soit R !

Conclusion locale

Dans une procédure infinitésimale **utile** on **approxime** sur chaque tranche

car on est **incapable** de faire le calcul exact de l'erreur locale

(ce calcul serait souvent plus difficile que le calcul direct global!)

- si on **NE PEUT PAS contrôler** cette erreur de modélisation, la rigueur de la théorie de l'intégrale nous protège faussement : l'évoquer est une **mystification**,

c'est une « foutaise scientifique !!! »

- si on **PEUT contrôler** l'ordre de grandeur de l'erreur de modélisation et qu'en plus, elle est **infiniment petite devant l'épaisseur Δz** alors

la procédure est géniale et fiable!

Conclusion globale

Pour comprendre véritablement une théorie il faut **oser affronter paradoxes et contradictions**, car c'est cet affrontement qui nous permet ensuite de **prendre des initiatives fructueuses** !

Ici par ex.

Quand on a compris ce qu'il faut contrôler pour que cette procédure débouche sur un résultat pertinent,

on peut prendre l'initiative d'un découpage original car :

- si on montre que l'erreur locale est du second ordre,

ce découpage est éventuellement une "idée de génie"

- si on découvre que l'erreur locale est du premier ordre, il est inutile de poursuivre : ce qu'on a inventé est voué à l'échec, ce qu'on obtiendra après moult calculs sera presque sûrement sans rapport avec la réalité étudiée.

Chapitre 3 : Réactions à partir de ces exemples

Si vous avez parcouru l'ensemble de ces huit exemples, il nous semble que vous aurez pu constater comme nous une très grande stabilité dans l'irresponsabilité intellectuelle que manifestent en situation scolaire une majorité de jeunes élèves de la petite école - ce qui paraît assez normal - mais aussi des lycéens plus aguerris - ce qui est plus surprenant - et enfin également - ce qui est proprement stupéfiant - des futurs enseignants du supérieur en train d'effectuer des thèses sur des sujets infiniment plus pointus et délicats que ceux que nous abordons ici car la plupart de nos situations ne mettent en jeu que des raisonnements assez élémentaires.

a. Ces exemples sont pour nous en quelque sorte des preuves...

que les didactiques classiques qui ne laissent que peu de responsabilité intellectuelle aux élèves/étudiants ne permettent pas à l'immense majorité d'entre eux de se construire un sens profond adéquat vis-à-vis de la plupart des démarches intellectuelles que nous leur enseignons.

Convenons que pour tout citoyen d'un pays évolué comme le nôtre qui fonde une grande part de sa culture propre sur ce qu'il apprend à l'école, la valeur personnelle des concepts ou des théories qu'on lui enseigne dépend de façon déterminante de la signification profonde qu'il leur attribue, puisque c'est cette signification profonde qui lui permettra après coup de penser et d'agir différemment, de prendre des initiatives de façon plus pertinente et fondée (tel est, nous semble-t-il, le pari fondamental de l'école de la République dans un pays qui se veut démocratique).

Or ces exemples montrent tous, chacun à leur façon, que les didactiques les plus exploitées dans cette école de la République engendrent le plus souvent une construction du sens très réducteur par rapport à la portée réelle des théories et concepts enseignés, un sens qui n'est pas du tout à la hauteur de la complexité de nos sociétés, un sens qui ne confère pas au citoyen cette indépendance de pensée qui est indispensable au sujet social pour qu'il puisse s'insérer harmonieusement dans une société très complexe mais où tout est de plus en plus souvent organisé à sa place, sans lui réclamer de véritable réflexion personnelle, sans lui demander donc ni son avis, ni son consentement sur le fond.

Ces exemples montrent tous que les didactiques traditionnelles ne laissent donc se développer chez la plupart des élèves qu'un sens très appauvri qui ne donnera pas au citoyen sorti de l'école les outils intellectuels qui lui seraient bien utiles pour relever les défis d'une participation à la fois indépendante et active à la marche d'un pays démocratique et républicain.

A partir d'un tel constat, quel peut être le sens même de nos enseignements théoriques si nous devons régulièrement constater, comme le montrent les exemples précédents, que la plupart de nos interlocuteurs ne sont pas parvenus à construire un début même de sens profond sur des concepts et théories qu'ils côtoient néanmoins à l'école souvent depuis des années ?

Quelle est donc la valeur de ces enseignements si nous observons que massivement nos interlocuteurs déforment et altèrent la signification profonde des concepts et des théories qu'on leur a néanmoins proprement enseignés et vont par moments jusqu'au point de leur donner des significations diamétralement opposées à celles que nous pensions leur transmettre ?

Pour nous ces exemples sont donc des preuves qu'on ne peut, sans forte contradiction, continuer à choisir de perpétuer en l'état les pratiques didactiques les plus classiques tout en poursuivant un objectif de sens profond, car ce que pratiquement tous ces exemples montrent de « terrifiant » en un certain sens se reproduit quasi à l'identique à chaque fois que nous plaçons un nouveau groupe d'élèves, d'étudiants ou de professeurs dans des situations analogues : nous constatons sur la répétition à l'identique de ces exemples que seule une infime minorité de sujets épistémiques formés à l'école construisent par eux-mêmes un sens profond adéquat sur les concepts et théories qui leur ont néanmoins été enseignés avec une grande rigueur et que beaucoup ont étudiés avec une assiduité bien récompensée par une brillante réussite aux examens et concours.

C'est à partir de tels exemples que le principe du « débat scientifique » nous est apparu comme « nécessaire » dans tout enseignement théorique qui se veut consistant sur un plan épistémologique et formateur au niveau social, car ce débat permet, comme on peut le constater sur ces exemples, non pas de « mettre l'élève au centre de la classe ou de l'amphi », mais de « mettre le problème de la construction du sens profond au centre des préoccupations communes des élèves ou étudiants et de leur professeur ».

On voit sur ces exemples que ce débat des élèves lorsqu'il est scientifique :

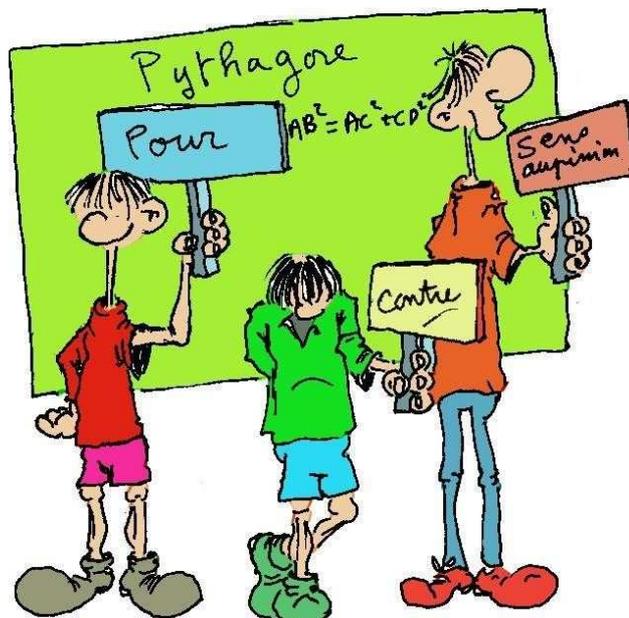
- permet d'abord de montrer l'inexistence ou la fausseté d'un tel niveau de sens profond local ou global pour beaucoup de participants, voire par moments pour tous, sur des savoirs fondamentaux qu'ils côtoient souvent depuis des années ;
- il montre ensuite la nécessité de construire un tel sens profond sous peine d'absurdité de leur participation au cours.

En effet, face à une situation problématique, la démarche intellectuelle commune des élèves/étudiants et de leur professeur qui consiste à commencer par chercher à se faire une idée propre de la situation, puis à échanger sur ce qu'on a compris, devient vite dérisoire voire absurde si la préoccupation commune de la construction du sens profond est absente ⁶², alors que dans une didactique plus classique cette

62 À l'inverse, comme nous l'avons déjà souligné, dans une didactique ordinaire quand un grand nombre

préoccupation peut être absente ou très faible sans que la situation ne devienne insupportable car ressentie comme absurde par quasiment tous les participants.

De fait, une discussion qui se veut sincère entre pairs, mais dans laquelle la plupart des participants ne savent pas trop où on va et ne cherchent pas à le découvrir, n'ont aucune véritable opinion sur ce qui est mis en débat et ne cherchent pas non plus à s'en forger une, ne peuvent étayer par un raisonnement tant soit peu rationnel pratiquement aucune des thèses éventuelles qu'ils formulent, fait rapidement éprouver à ces sujets qui n'ont aucune préoccupation de construction d'un sens profond, le sentiment de jouer une comédie de plus en plus dérisoire, ces élèves/étudiants constatent alors dans l'action que ce qu'il savent de façon formelle ne leur sert à rien, ne les rend pas intelligents puisque cela ne leur permet ni de prendre des initiatives, ni de réagir aux initiatives des autres : **construire un sens profond en cours devient alors pour eux une nécessité car c'est leur seul moyen de sortir de cette sorte d'absurdité humiliante.**



Par exemple, pour des étudiants très avancés comme les thésards, il est d'une certaine façon assez humiliant de découvrir dans l'action du débat que ce qu'ils ont appris et croient bien connaître depuis des années à propos de théories consistantes comme celles sur les infinitésimaux, sur les séries ou les intégrales, ne leur a pas permis de construire un sens profond qui leur aurait donné une solide intuition pour pressentir à quel endroit il faut surveiller ce type de mathématisation du réel (un nombre incalculable de grandeurs théoriques et pratiques sont évaluées de cette façon par les chercheurs comme par les ingénieurs) et sur quels critères fiables ils peuvent se baser pour savoir si cette façon de « calculer » la réalité a ou non des chances de représenter la grandeur qu'on prétend ainsi évaluer.

Une telle prise de conscience de sa propre ignorance, faite sur le tard là où l'on se croyait savant, serait assez difficile à vivre si chaque moniteur devait se découvrir seul à être dans cette situation, ce serait alors psychologiquement quasi insupportable pour lui ; dans nos expérimentations, ce qui adoucit cet acte d'authenticité pour eux et rend la situation « vivable » tient au fait que le dispositif permet à chacun de constater que presque tous ses pairs sont dans cette même position d'ignorance.

En leur faisant vivre de telles situations, nous misons alors sur le fait qu'une fois cette vexation digérée avec un peu d'humour, la découverte assez terrifiante de ce manque

d'élèves/étudiants ne comprennent rien ou presque sur le fond, pratiquement aucun n'éprouve alors un sentiment d'absurdité de leur participation au cours puisque précisément ce cours peut avancer sans le sens profond, hors d'une problématique de découverte du sens profond de ce qui s'y enseigne.

dans leur propre bagage intellectuel pourra devenir un aiguillon très fort pour qu'ils n'acceptent pas de reproduire à l'identique pour leurs propres étudiants un système didactique qui les a mis en si mauvaise position, pour qu'ils ne puissent plus se contenter - par éthique personnelle - de faire apprendre à leurs propres étudiants des théories aussi fondamentales qui risquent en n'étant que des savoirs externes de ne leur laisser aucune trace scientifiquement exploitable hors des strictes situations d'école où toutes les précautions à prendre pour que cela soit fiable sont indiquées.

- **Enfin ce type de « débat » permet d'amorcer un début de construction de sens profond local et (surtout) global :**
 - **un début de construction de sens profond local, i.e. sur le savoir précis qu'on étudie à ce moment, un début assez profond** pour que l'élève/étudiant qui veut maîtriser ce savoir puisse s'appuyer dans la suite sur ce début de compréhension pour l'approfondir en le retravaillant en partie seul, en l'expérimentant et/ou en étudiant d'autres savoirs, éventuellement dans d'autres disciplines ;
 - **un début et/ou une poursuite de construction de sens profond global, i.e. un approfondissement du sens des démarches intellectuelles** dont la discipline enseignée est porteuse, mais que beaucoup peuvent ignorer totalement sans pour autant échouer dans un enseignement très classique. En l'absence de vrais « débats » sur ces démarches intellectuelles, on peut comme on l'a souvent vu dans l'évocation de ces exemples les trahir énormément et de façon totalement caricaturale sans sourciller un instant, sans même se rendre compte de l'énormité que l'on défend quand un pair vous le fait remarquer (quand on est sur le point de devenir professeur, se rendre compte par exemple qu'on a trouvé dans un premier élan utile et/ou pédagogique un cercle vicieux, une « preuve » qui en fait ne prouve rien ou encore qu'on a applaudi à l'utilisation d'une grue pour soulever une mouche peut être, il nous semble, profondément salutaire avant que d'imposer de façon magistrale des convictions épistémologiques aussi désastreuses à ses propres élèves/étudiants, par exemple en mettant les plus mauvaises notes à ceux qui ont maladroitement montré qu'ils avaient le mieux compris l'essentiel !)

b. Ces exemples peuvent, nous le pensons, devenir pour vous aussi des preuves...

qu'il y a une contradiction forte entre « vouloir garder en l'état les pratiques didactiques classiques » et simultanément « vouloir qu'une majorité d'élèves/étudiants comprennent véritablement l'essentiel de ce qu'on leur enseigne ».

Pour que cela devienne des preuves pour vous comme cela l'a été pour nous, il vous « suffit » de placer vos propres élèves/étudiants face à des problèmes analogues à ceux de ces exemples : vous verrez alors apparaître (nous en faisons le pari et ne prenons pas de risque ce faisant) des comportements d'élèves/étudiants très voisins de ce que nous décrivons ici.

Quand nous disons, « il vous suffit » de placer vos propres élèves/étudiants face à des problèmes analogues pour voire apparaître les mêmes phénomènes! » il nous faut néanmoins mettre un bémol (sinon nous allons perdre à coup sûr notre pari) : tout se passera quasi à l'identique de ce que nous venons de décrire si de votre côté vous modifiez

fortement, au moins au moment où vous faites ces expériences, le contrat didactique de votre classe ou de votre amphi.

Tout se passera donc sûrement quasi à l'identique ***si vous ne désignez pas le problème de fond, si vous ne faites pas ces petits clins d'œil que les « bons élèves » repèrent immédiatement*** et qui leur indiquent très clairement qu'il faut être vigilant et où être vigilant (« où est le piège » dit-on classiquement), ***si vous laissez également vos interlocuteurs proposer leurs solutions et que vous ne les déformez pas pour les arranger (comme on a tous tendance à faire)*** mais au contraire les renvoyez au groupe classe ou amphi en écrivant au tableau un résumé le plus fidèle possible à ce qui vous a semblé être le sens profond de l'intervention, ***si enfin, vous n'accueillez pas avec un large sourire tout ce que vous attendez, ni ne rejetez*** (ou êtes sourds à) ***tout ce qui vous dérange***, etc. etc. (i.e. si vous respectez pour vous-même, professeur, pendant un temps au moins les règles de base du « débat scientifique en cours »).

c. Ces exemples justifient, de notre point de vue, l'affirmation a priori contenable de « nécessité absolue du débat scientifique en cours ».

Cette ***nécessité*** qui nous est nettement apparue au fur et à mesure que se multipliaient dans nos propres enseignements la répétition des exemples précédents ***est, bien entendu, à relativiser*** dans la mesure où on ***pourrait toujours imaginer que d'autres didactiques*** moins difficiles à mettre en œuvre, moins énergivores et moins chronophages, soient possibles et deviennent alors « bien meilleures » car plus écologiques si en « coûtant moins » elles produisent néanmoins des résultats très satisfaisants au niveau de la construction du sens !

Nous en avons beaucoup rêvé comme vous probablement mais... nous n'en connaissons malheureusement pas et, pour dire vrai..., nous ne croyons plus beaucoup à la possibilité d'obtenir une transformation en profondeur des élèves/étudiants vers plus de sens profond à un coût didactique très inférieur à celui du « débat scientifique » car l'analyse des transformations/innovations pédagogiques d'un côté et l'analyse théorique des problèmes que pose l'enseignement de savoirs complexes et abstraits de l'autre, tendent à nous montrer que vis-à-vis de la prise en compte des difficultés de la construction du sens de ces savoirs, ***toutes les demi-mesures didactiques***, toutes les modifications pédagogiques plus « douces » ***finissent presque toujours*** après un temps d'innovation ***par se ramener à terme aux pratiques dominantes auxquelles on voulait soustraire nos interlocuteurs élèves/étudiants.***

Nous reviendrons longuement au Tome II sur ce problème des transformations pédagogiques peu coûteuses au départ (dans la mesure où elles n'imposent pas un changement de point de vue important de l'enseignant), mais qui au bout du compte ne modifient que très peu le comportement des élèves/étudiants vis-à-vis de la construction du sens et/ou qui s'essoufflent très vite pour revenir après un moment d'euphorie aux didactiques initiales; nous définirons alors deux modèles d'enseignement qui nous apparaissent comme des pôles de stabilité : le monstatif classique (je montre - j'explique / j'écoute - j'applique) mode dominant d'un côté et le mode du cours constructiviste de l'autre dans lequel s'insère le « débat scientifique ».

Mais pour le moment il nous semble que sans être obligés de construire immédiatement une telle théorie, l'analyse des exemples précédents nous suffit pour poser comme un postulat l'observation commune globale.

Postulat inspiré par ces exemples :

Ce que des didactiques constructivistes type « débat scientifique » apportent d'essentiel au niveau de la construction du sens profond, aucune didactique franchement moins coûteuse en temps et en énergies ne peut parvenir à le faire de façon pérenne.

Une des raisons essentielles qui nous pousse à poser cela comme un postulat ici se trouve dans ***le point commun que l'on trouve dans pratiquement tous les exemples*** que nous venons de regarder où s'interpénètrent le local et le global :

- au départ de tout avatar didactique on trouve des élèves/étudiants qui butent sur un point précis, sur un savoir bien identifié,
- et très vite ce que l'on observe sur ces exemples, c'est que si pour aborder cette carence locale on exploite le « principe du débat scientifique », il devient alors assez évident que cette difficulté locale a pour origine et pour prolongement une non maîtrise et/ou une incompréhension globale de certaines démarches intellectuelles propres à la discipline, ***il devient alors évident qu'on ne va pas pouvoir « corriger » ce défaut de sens local sans s'attaquer à un défaut de sens beaucoup plus global.***

Dans de telles situations, ***l'économie formidable en temps et énergies que réalisent les didactiques classiques repose principalement sur l'analyse suivante du problème : à une difficulté locale correspond un traitement didactique local*** (une « remédiation » i.e. quelques explications magistrales supplémentaires suivies de quelques exercices ad hoc). Ce traitement didactique des erreurs peut alors s'effectuer dans une grande économie de temps et de moyens et permet de plus de poursuivre le cours de l'enseignement sans voir immédiatement (ré)apparaître le problème de fond qu'on n'a absolument pas abordé (mais problème de fond qui va probablement miner la compréhension de ce qui suivra ça ne se verra pas tout de suite..., pas de façon explicite, et il sera alors très difficile d'en comprendre l'origine !).

Le côté aventureux et chronophage du « débat scientifique » est précisément qu'il fait apparaître au gré des difficultés locales, ces incompréhensions plus profondes et plus globales et oblige à les affronter sur le champ sans contourner une fois encore les obstacles.

Ainsi, comme nous l'avons déjà souligné, toute action du professeur pour regagner du temps au cours du « débat », pour prendre moins de risques, va plus ou moins avoir pour conséquence assez rapide d'anéantir ce que ce mode didactique apportait de fondamental sur le sens profond global et que les didactiques plus classiques, plus efficaces à court terme, ne peuvent apporter (puisque leur efficacité repose en grande partie sur le fait qu'elles ne se soucient pas prioritairement de la construction de ce sens profond et qu'elles ne se sont donc pas dotées de moyens propres pour favoriser une construction aussi délicate).

C'est la raison pour laquelle, à la lumière de tels exemples, nous posons l'alternative :

- ou bien on accepte le prix fort de didactiques de type « débat scientifique » et on a des chances de s'attaquer résolument au problème de la construction du sens profond,
- ou bien on considère comme déraisonnable un tel investissement didactique, mais alors, si on ne veut pas se retrouver en grande incohérence avec ses propres choix épistémologico-didactiques, socioculturels et éthiques, on ne peut plus que se boucher

les yeux afin ne pas voir trop crûment apparaître un peu partout ces pertes ou ces défauts de sens profond que tous nos exemples mettent en lumière !

d. Hypothèses de travail pour la troisième partie.

Dans la troisième partie où nous aborderons plus directement le problème de la « nécessité du « débat scientifique » sur un plan éthique et social, nous **prendrons ces exemples comme des paradigmes, comme des faits reproductibles à volonté** que nous interprétons de façon globale de la façon suivante :

Pour une majorité d'élèves/étudiants, la façon dont nous leur présentons habituellement la science sans leur faire prendre de véritable responsabilité intellectuelle ne leur permet de comprendre ni le projet philosophique que représente la démarche scientifique, ni les méthodes et les techniques qui ont été peu à peu élaborées par la communauté scientifique pour réaliser ce projet philosophique.

La plupart d'entre eux **ne voient pas prioritairement le savoir en général, et la science en particulier, comme une façon de tenter de mieux comprendre le monde qui nous entoure en partant de fait avérés et en définissant des principes et des lois susceptibles de rendre compte de ce qui se produit avec une certaine régularité.**

Ils ne voient pas qu'à partir de ces bases on construit des modèles, qui ne sont plus des réalités concrètes (perte de sens concret) mais dans lesquels on peut inférer et/ou déduire de nouvelles propriétés pertinentes dans le réel concret dont certaines se voient directement et d'autres pas du tout.

Ils ne réalisent pas qu'**on construit ainsi des réalités d'idées qui ne fondent pas leurs significations sur les mêmes démarches d'esprit que celles qui naissent de l'observation directe des réalités concrètes : le sens** de ces réalités d'idées se construit d'abord en regardant dans quelle mesure la construction de la théorie ou du modèle respecte bien ou non des nécessités logiques internes (le fait que le modèle ait l'air de ressembler à la réalité n'est pas suffisant pour lui donner une consistance en tant que modèle), ce qui ne signifie pas qu'on va s'exempter de l'obligation de chercher à garder un lien entre modèle et réalités concrètes, entre théorie et pratique, en entretenant en permanence un jeu subtil où entrent en synergie et se confortent à tout moment les raisonnements logiques et les observations/expérimentations.

En particulier, il nous apparaît que **très peu d'élèves/étudiants voient les mathématiques comme représentant cette partie du jeu scientifique où l'on peut inférer ou déduire de nouveaux résultats à partir d'autres établis ou supposés valides en exploitant la seule force des raisonnements logiques dans la recherche de validité qu'est la démonstration.**

Leurs réactions face à des contradictions comme celle des « fantômes écossais » montrent qu'ils n'ont pas compris **qu'en mathématiques on établit** par le raisonnement logique **des résultats qui, s'ils ne tiennent pas leur validité mathématique de la confirmation par l'expérimentation, doivent néanmoins ne jamais introduire de contradiction logique flagrante avec les faits expérimentaux** (si de telles contradictions apparaissaient suite à des raisonnements mathématiques, il faudrait absolument revenir en arrière :

- d'abord pour bien regarder la façon dont ces faits expérimentaux contradictoires sont mathématisés – problème de modélisation

- et ensuite pour regarder si le raisonnement mathématique est irréprochable,

car si au bout du compte la modélisation **et la** mathématisation étaient irréprochables **ce serait terrible** pour le genre humain tel qu'il s'est civilisé : il faudrait alors - ***pour échapper à l'absurdité mentale*** - remettre en cause la mathématique elle-même, la logique en soi ou l'usage qu'en font les mathématiciens ! (et fort heureusement cela n'est jamais arrivé et le pari philosophique de la science est que cela n'arrivera jamais! mais la preuve absolue de tout cela est à notre avis de l'ordre d'une croyance divine!!)

De ce fait, ils ne comprennent pas le pourquoi des définitions précises des mathématiciens, ni le pourquoi des exigences par moment tatillonnes qu'ils imposent à leurs démonstrations afin précisément de ne pas polluer leurs raisonnements par un mauvais usage de la logique au point de devenir capables d'inférer sans s'en rendre compte de véritables absurdités comme celles des fantômes écossais !

Toutes nos observations nous poussent à affirmer que la science que nos élèves perçoivent à travers nos enseignements scientifique classiques n'est pas une activité d'inférences et de déductions valides à partir de principes bien établis ou tenus pour vrais a priori, suite à des observations très fines des régularités du monde ; c'est pour bon nombre d'entre eux, le plus souvent une activité de type « leçon de choses » en terme de catalogue de résultats considérés par l'institution école comme valides et qu'il faut seulement apprendre à appliquer méthodiquement dans des situations bien répertoriées.

Une théorie c'est donc le plus souvent pour eux, un catalogue de résultats déclarés vrais mais sans forcément de grands liens logiques entre eux, et sans liens obligés de cohérence avec ce qu'on constate tous dans la vie ordinaire. Des résultats qui n'ont donc pas à être confrontés sur un plan logique entre eux (ils peuvent sans drame se contredire), pas plus qu'ils n'ont à être confrontés à l'expérience sensible (ils peuvent comme les fantômes écossais contredire des principes que les réalités de la vie quotidienne affirme implicitement avec une grande force et une grande régularité : par exemple « ce qui est vrai pour un ne l'est pas forcément pour deux et a fortiori pour tous! Mais cette affirmation de « bon sens » peut facilement être oubliée par eux dès qu'on formalise suffisamment un raisonnement, par exemple, à partir d'un principe comme celui de la récurrence).

Ces diverses confrontations n'ont aucune nécessité pour eux puisque les résultats théoriques qu'ils apprennent ainsi à l'école leur servent moins à investiguer et à comprendre le monde qu'à être récités convenablement le moment venu afin de produire des notes aux examens et des places aux concours.

Ce qu'ils perçoivent de la rigueur scientifique c'est principalement l'obligation de respecter les formalismes convenus et non la recherche de ce qui est pertinent et vrai en faisant la chasse aux contradictions qui résultent très souvent d'une généralisation abusive.

En pratique, ils acceptent donc très facilement des résultats/raisonnements invraisemblables/contradictaires car ils n'ont pas perçu que l'ensemble des formalismes scientifiques (en particulier les formalismes mathématiques) qui d'un côté ont l'inconvénient de nous éloigner terriblement du sens intuitif issu du réel concret, ont pour mission et avantage premier de nous protéger des malentendus et des contradictions qui menacent toute construction intellectuelle où l'on tend à généraliser par le raisonnement ce qu'on a initialement pu observer de façon très

concrète sur un domaine bien circonscrit. (Ils n'ont pas saisi que dans cet acte de généralisation à un domaine plus large de ce qui se perçoit bien dans un cas particulier, on ne dispose plus en général de ses yeux pour contrôler ce qu'on devrait voir et de ses oreilles pour entendre les bruits qui nous alerteraient d'un possible danger : il faut donc se doter d'outils plus sophistiqués que le simple « bon sens » pour se prévenir de tous ces dangers potentiels !)

En fin de compte, il nous semble que la majorité d'entre eux n'ont nulle part ressenti qu'ils pouvaient se saisir de la démonstration du mathématicien pour valider eux-mêmes et très solidement une inférence.

Peu d'élèves/étudiants semblent persuadés que s'ils conduisent leur raisonnement avec méthode, *ils peuvent alors avoir raison contre les affirmations péremptoires d'une machine si sophistiquée soit-elle, ou contre le résultat d'une expérience spectaculaire mais non valide en terme de preuve dans la mesure où un trop grand nombre de paramètres sont ignorés ou mal contrôlés.*

Ne leur ayant pas suffisamment donné l'occasion de défendre des thèses auxquelles ils adhèrent personnellement devant des pairs exigeants en terme de vérité et de pertinence, nous ne sommes pas arrivés à les persuader, semble-t-il, que la rigueur scientifique, malgré ses contraintes, n'est absolument pas castratrice, qu'elle n'est pas là pour appauvrir, étouffer ou enchaîner notre imaginaire, mais au contraire pour l'inviter à se manifester par des propositions explicites, le libérer, lui donner force en le rendant discutable (i.e. on peut en parler) : il est plus facile de prendre des initiatives risquées si on sait en gros où on veut aller et si on sait de plus qu'on pourra contrôler ce qu'on fait en adoptant un cheminement original, si on a repéré les principaux paradoxes et contradictions qui vont probablement obstruer notre cheminement et risquer de faire échouer nos initiatives (l'exemple des mises en équations infinitésimales est édifiant à ce sujet).

Au cours des dix à quinze années où ces élèves ont régulièrement rencontré les mathématiques à l'école, nous ne sommes pas arrivés non plus, semble-t-il, à leur montrer pragmatiquement que cette forme de raisonnement particulier qu'on appelle la « démonstration » *est précisément construite par le mathématicien de telle sorte que les inférences abusives, les déductions non valides soient plus aisément « visibles ».*

En leur donnant très peu d'initiatives et de responsabilités intellectuelles sur la production de conjectures ayant vocation à devenir des savoirs du cours nous ne sommes pas arrivés enfin à leur faire partager la conviction que *la « lourdeur » des précisions logiques qu'exige une démonstration mathématique*, « lourdeur » dont chacun aimerait bien s'exempter, est en pratique *la contrepartie, le juste prix de sa fiabilité*; nous ne sommes pas parvenus à les convaincre que les modes de preuves moins structurés logiquement, qui ont leurs avantages car ils sont souvent plus simples à construire, plus faciles à suivre car plus parlants, *ont le terrible inconvénient de nous persuader un peu trop vite de ce qu'on a envie de croire.*

Pour tout humain dont le cerveau n'est pas hypertrophié, il est clair qu'un allègement de la structure logique d'une explication le persuade plus facilement de l'intérêt et de la fécondité d'un résultat important. Il est un fait que devant une explication trop complexe on réclame tous a priori une explication plus simple, mais ce que doit nous apporter la culture scolaire c'est précisément de bien comprendre aussi que cet allègement simplificateur n'a pas que des avantages : il peut aisément aussi nous convaincre de la pertinence et de la vérité d'un résultat qui serait en réalité très faux et/ou non pertinent car dans de tels raisonnements simplifiés les ambiguïtés et les informations manquantes se glissent insidieusement pour nous

tromper et sont bien moins repérables que dans un raisonnement plus formalisé, on y détecte beaucoup moins facilement la présence des cercles vicieux intermédiaires !

L'exemple des mises en équations infinitésimales montre chaque année qu'avec des étudiants du niveau thèse, les cercles vicieux ne sont pas forcément considérés par nombre d'entre eux comme des drames, beaucoup ne voient pas que leur présence tend à ruiner tout édifice scientifique ; pour certains de ces jeunes professeurs ils peuvent même, comme nous l'avons plusieurs fois mentionné (tant c'est surprenant à ce niveau d'études), avoir des vertus pédagogiques pour montrer comment une procédure complexe peut s'appliquer très simplement pour... ne rien montrer, ou s'appliquer de façon pédagogique là... où elle ne montre rien !

Partant donc de cette hypothèse de travail (globalement les enseignements classiques échouent à transmettre le sens profond des concepts et des théories)

Il nous faut alors convenir qu'il y a une sorte de contradiction de fond entre ce que nous pensons sincèrement enseigner habituellement, notamment en sciences, quand nous énonçons proprement une théorie (en espérant tacitement les initier au sens d'une démarche scientifique) et le sens que la plupart de nos élèves ou étudiants construisent ainsi en terme de démarche intellectuelle valide !

Les exemples précédents montrent d'une certaine façon l'absurdité de l'activité intellectuelle à laquelle nous convions la plupart de nos élèves/étudiants quand nous adoptons spontanément une didactique classique où le professeur montre et explique tout ce qui est délicat et où il est de ce fait responsable de tout au niveau du sens et de la pertinence, alors que l'élève/l'étudiant qui est convié à écouter et à appliquer dans des situations ad hoc se sent de fait déresponsabilisé de tout au niveau du sens et de la pertinence de ce qui se pense et s'énonce à l'école.

Dans ces conditions, il nous semble que nous sommes de fait obligés en tant que professeurs de nous interroger sur la validité, sur la légitimité des enseignements scientifiques qui dominent à l'école et qui produisent de tels résultats.

Nous sommes « obligés de nous interroger » si nous savons par ailleurs que des alternatives crédibles existent qui ne produisent pas les mêmes effets, si nous savons par exemple qu'une pratique régulière du « **débat scientifique** » dans une classe ou un amphi amène une part très importante d'élèves/étudiants **à prendre progressivement beaucoup plus de responsabilités intellectuelles et leur permet alors peu à peu de faire eux aussi de la science en cours de science** et pas seulement de regarder le professeur en faire.

Si, bien entendu, aucune didactique ne peut dans un premier temps prétendre faire échapper la classe ou l'amphi à l'apparition momentanée et massive des non sens et des contresens qui fleurissent assez spontanément dans l'étude des savoirs les plus fondamentaux d'un programme, rien par contre ne condamne la majorité des élèves/étudiants à rester durablement dans cet épais brouillard du sens.

*En effet, il nous semble que ces non sens et ces contre sens « spontanés » de début d'étude d'une théorie ou d'un concept traduisent seulement le fait que les savoirs les plus importants d'un programme se présentent presque toujours sous la forme d'**obstacle épistémologiques** pour l'élève/étudiant qui les rencontre pour la première fois.*

Mais à partir de là rien n'est écrit d'avance vis-à-vis du dépassement de ces obstacles (raison pour laquelle nous nous interrogeons sur la validité des choix didactique dominants!)

- *les didactiques classiques craignant que les élèves/étudiants ne soient pas assez mûrs, n'en sachent pas assez, ne soient pas assez intelligents pour comprendre la complexité de la situation, **cherchent à contourner ces obstacles épistémologiques** en tant que tels et prennent alors le risque (comme on le constate sur ces exemples) d'en occulter durablement la signification profonde pour une très grande majorité d'élèves/étudiants, voire par moments pour tous !*
- *les didactiques constructivistes type « **débat scientifique** » se donnant pour mission d'affronter ces obstacles avec la participation active des élèves/étudiants offrent de ce fait à ces derniers beaucoup plus de chances de construire rapidement un début de signification profonde, qui va pouvoir s'approfondir et se pérenniser dans la poursuite de leurs études, mais réclament plus de temps et de travail, plus de prise de risque et sont beaucoup plus délicates à mettre en œuvre au quotidien des enseignements.*

e. Deux questions cruciales sur les choix didactiques dans l'école

Puisque rien ne semble écrit à l'avance sur la construction du sens profond dans un enseignement donné, les deux questions cruciales qui nous préoccupent maintenant à propos des choix didactiques qui dominent à l'école sont les suivantes :

- *si notre jugement sur la gravité de la situation de l'école vis-à-vis du sens profond des savoirs construits par la grande majorité des élèves/étudiants n'est pas abusif, **pourquoi l'école** dans son ensemble, en particulier les professeurs et les élèves/étudiants, **ne voient-ils pas la gravité de ce que nous dénonçons ?***

- *si notre jugement négatif sur les didactiques classiques est bien-fondé et si des didactiques très différentes de type « **débat scientifique** » permettent effectivement de lever l'obstacle fondamental à la construction du sens profond par l'élève/l'étudiant, **de telles didactiques sont-elles alors compatibles avec une institution comme l'école ?***

Nous allons tenter de répondre à ces deux questions dans la troisième partie !

*Partie III : Nécessité sociale et
éthique d'une forme de
« débat scientifique » dans un
enseignement*

*Partie IV : Étude pratique du
« débat scientifique » en tant
que dispositif d'enseignement
global et pérenne*

Table des matières

Avant-propos	8
A) Pourquoi vouloir organiser des « débats sur les savoirs du cours » dans une classe ou dans un amphi ordinaire ?.....	8
B) Organisation du partage de ces idées	10
C) Un exemple paradigmatique ou un clin d'œil pour sourire.....	13
D) Quelques observations/constats sur lesquels repose l'écriture de ce texte :.....	19
1) Quel bilan global d'une pratique régulière du « débat scientifique » en cours ?..	19
2) Deux mots sur l'écriture même de ces trois tomes	20
a. Quels en sont les différents auteurs, quels ont été les rôles et places respectifs de chacun dans l'écriture collective	20
b. La place et le rôle des répétitions dans notre présentation : un choix délicat..	27
Première approche à partir d'un exemple.....	29
A) Le script de cette séance d'introduction d'une problématique de géométrie dans l'espace	30
B) Questions cruciales (pour nous, observateurs de cette séquence de classe).....	35
1) Tous les élèves de cette classe ont-ils compris le fond du problème ?.....	35
2) Est-ce bien raisonnable de passer autant de temps à « bricoler ainsi les définitions » ?	37
Pour conclure cette introduction	40
Partie I : Finalités et origines du « Débat Scientifique » dans un enseignement.....	45
Chapitre 1 : Fonction et place de ces « débats sur les savoirs du cours ».....	46
I) Affrontement du paradoxe caché de l'école	46
II) Place des « débats » dans l'ensemble du cours.....	55
III) Quel type d'éducation laïque et républicaine le débat scientifique a-t-il vocation à prendre en charge prioritairement ?.....	58
A) Sur un plan social et éthique.....	58
B) La double responsabilité du professeur dans cette affaire.....	61
IV) Quels obstacles à la réalisation de ce projet ambitieux ?.....	63
Premier obstacle : pour le professeur, un changement radical qui ne peut le plus souvent s'appuyer sur un vécu d'élève.....	63
Deuxième obstacle : pour nous, auteurs de cette synthèse, ne pas arriver à faire ressortir les « vraies raisons » du changement	64
Chapitre 2 : Genèse de ce principe.....	68
I) Quatre étapes – quatre origines – quatre rencontres déterminantes.....	68
A) Première étape : un vécu scolaire qui cristallise le problème du sens.....	68
B) Deuxième étape : les « sixièmes modernes ».....	80
C) Troisième étape : le cours un peu spécial de M. Chabauty.....	91
D) Quatrième étape : rencontre de « la didactique ».....	94
1) Deux phases aux antipodes l'une de l'autre : une phase d'opposition assez forte et une phase de grande interaction	94
a. La phase d'opposition assez forte.....	94

b. La phase de forte coopération	97
2) L'apport déterminant de la théorie des situations.....	101
a. La notion de situation fondamentale.....	103
b. La notion de « dévolution d'une responsabilité scientifique » (du professeur à ses élèves/étudiants).....	104
c. Conséquence de ces deux grandes idées dans un enseignement scientifique	105
d. La notion d'obstacle épistémologique.....	106
3) La théorie anthropologique.....	111
II) Évolution de nos recherches au cours de ces trente dernières années.....	114
1) L'inflexion engendrée par la rencontre avec la recherche en didactique	114
2) Corriger les excès consécutifs à tout changement de paradigme.....	115
a. Magnificence du débat et péjoration du travail didactique plus classique.....	115
b. Magnificence de la neutralité du professeur allant jusqu'à lui interdire de faire son travail propre de professeur explicateur, garant d'une certaine vérité et d'une certaine pertinence.....	116
c. Balayer un peu vite d'un revers de main toutes les raisons profondes qui interdisent à beaucoup de professeurs d'envisager comme raisonnable un tel changement de paradigme didactique.....	117
d. Évolution de l'équilibre entre « phases de débat » et « phases instituanes »	118
e. Évolution dans notre questionnement autour des interventions du professeur dans le débat.....	118
f. Évolution dans notre analyse des résistances au changement de paradigme.	120
Chapitre 3 : Fondement épistémologique et cognitif de ce principe didactique.....	122
I) L'épistémologie ou quelles démarches intellectuelles viser ?.....	123
1) Qu'appelons-nous « initiation à une démarche intellectuelle authentique » ?...	126
2) Les quatre étapes constitutives d'une démarche intellectuelle authentique.....	129
3) Question immédiate : est-ce bien raisonnable d'avoir une telle exigence épistémologique, une telle ambition dans la conduite d'un enseignement destiné au plus grand nombre ?.....	136
II) Le cognitif ou les deux logiques complémentaires d'accès au sens profond des savoirs complexes	140
1) La logique de la découverte	140
2) La logique de l'exposition.....	141
III) Le didactique ou les deux contrats ou postures didactiques opposés et complémentaires pour respecter ces deux logiques	142
A) Le contrat didactique de la problématisation des savoirs.....	143
B) Le contrat didactique institutionnel.....	145
Relation entre ces deux contrats didactiques	148
C) Observations et principes à partir desquels ces deux contrats didactiques peuvent entrer en synergie dans la construction du sens profond.....	150
Partie II : Nécessité épistémologique et didactique du « débat scientifique » dans un enseignement.....	155
Préambule.....	155
Chapitre 1 : Présentation de huit situations alarmantes	160
A) Nature commune de ces huit situations.....	160
1) Des situations construites pour faire surgir le non sens.....	160

Partie IV : Étude pratique du « débat scientifique » en tant que dispositif d'enseignement global et pérenne

2) Des situations construites pour dépasser le non sens.....	163
3) En conclusion.....	164
B) Problématique d'analyse de ces diverses situations.....	165
Chapitre 2 : Les huit situations	168
1) L'âge du capitaine ou l'exemple initial révélateur du détournement principal de sens profond.....	169
2) Le parallélogramme d'aire figée en première année d'université ou l'absence de recherche des variables pertinentes	173
3) Une activité en or ! (Au lycée).....	181
4) La lune qui s'emballe en cours de physique à l'université !.....	204
5) L'interpolation toujours linéaire et la fausse rigueur en licence.....	206
6) Le « jean » dont les bas de jambes ne pourront jamais sécher sans balayer le sol (avec des moniteurs en thèse).....	211
a. Avertissement propre à la présentation de cette situation et à celle des procédures infinitésimales.....	211
b. Déroulement de la situation.....	213
c. Le recours à l'expérience pratique.....	218
d. Première interrogation méta au niveau épistémologique et didactique :.....	220
e. Deuxième interrogation au niveau didactique et éthique :.....	221
f. L'institutionnalisation didactique.....	223
7) La « terrible » révélation des fantômes écossais :	226
8) Les équations infinitésimales ou l'éloge des vertus pédagogiques des cercles vicieux en thèse !.....	235
a. Commentaire épistémologique à partir de cette première mise en équation infinitésimale.....	238
b. Commentaire sur cette deuxième mise en équation infinitésimale.....	240
c. Commentaire sur cette troisième mise en équation infinitésimale.....	242
d. Commentaire sur cette dernière mise en équation infinitésimale.....	243
Chapitre 3 : Réactions à partir de ces exemples.....	249
a. Ces exemples sont pour nous en quelque sorte des preuves.....	249
b. Ces exemples peuvent, nous le pensons, devenir pour vous aussi des preuves... ..	252
c. Ces exemples justifient, de notre point de vue, l'affirmation a priori contestable de « nécessité absolue du débat scientifique en cours ».....	253
d. Hypothèses de travail pour la troisième partie.....	255
e. Deux questions cruciales sur les choix didactiques dans l'école	259

Partie III : Nécessité sociale et éthique d'une forme de « débat scientifique » dans un enseignement.....261

Partie IV : Étude pratique du « débat scientifique » en tant que dispositif d'enseignement global et pérenne.....263

Index des exemples

Je fais court ou normal ?.....	13
Introduction d'une problématique de géométrie dans l'espace.....	30
L'âge du capitaine ou l'exemple initial révélateur du détournement principal de sens profond.....	171
Le parallélogramme d'aire figée en première année d'université ou l'absence de recherche des variables pertinentes.....	177
Une activité en or ! (Au lycée).....	185
La lune qui s'emballa en cours de physique à l'université !.....	208
L'interpolation toujours linéaire et la fausse rigueur en licence.....	210
Le « jean » dont les bas de jambes ne pourront jamais sécher sans balayer le sol (avec des moniteurs en thèse).....	215
La « terrible » révélation des fantômes écossais.....	231
Les équations infinitésimales ou l'éloge des vertus pédagogiques des cercles vicieux en thèse.....	240

Index des mots clés

B	
Brousseau, Guy.....	103
C	
Cercle vertueux.....	53
Chevallard, Yves.....	97
Cognitif.....	142
Conjecture.....	104
Consistance épistémologique.....	16
Contrat didactique.....	57, 98
Contrat didactique de la problématisation des savoirs.....	145
Contrat didactique institutionnel.....	147
Courants pédagogiques constructivistes.....	103
D	
Démarche intellectuelle authentique.....	128, 131
Dévolution.....	53, 94, 104, 106 sv, 111
Douady, Régine.....	99
E	
Épistémologie.....	91, 115, 125
Essais/erreurs.....	104
F	
Fausse économie.....	39
Freinet, Célestin.....	103
L	
Logique de l'exposition.....	143
Logique de la découverte.....	142
M	
Modèle.....	30
O	
Obstacle épistémologique.....	104, 108 sv, 111
P	
Paradoxe de l'explication.....	8
Piaget, Jean.....	103
Principe de « réalité de l'abstraction ».....	195
Principe de non contradiction.....	194
R	

Règles du débat.....	217
§	
Situation fondamentale.....	104, 111
¶	
Théorie « du jeu de cadre et de la dialectique outil-objet ».....	99
Théorie anthropologique.....	97, 113 sv
Théorie des situations.....	97, 103
Théorie du champ conceptuel.....	99
V	
Vergnaud, Gérard.....	99

Bibliographie :

Par Marc Legrand

2001 Repères n°43 p.55-58. Réforme ou changement de culture.

1997 Actes de l'Université d'Eté 1996. Recherche Mathématique et Formation.

1997 Développer la recherche scientifique à travers l'étude de situations mathématiques

1997 Repères n°27 p.81-125. La problématique des situations fondamentales et l'approche anthropologique. Deux regards sur l'enseignement des mathématiques.

1996 L'enseignement des mathématiques : des Repères entre Savoirs, Programmes & Pratiques. p. 171-192. Débat scientifique en cours de mathématique et spécificité de l'analyse.

1996 Recherches en didactique des mathématiques. Vol. 16. n°2 p.221-279. La problématique des situations fondamentales. Confrontation d'un paradigme des situations à d'autres approches didactiques.

1995 Repères n°21 p.111-139. Les mathématiques, mythe ou réalité ? (2ème partie).

1995 Repères n°20 p.91-108. Mathématiques, mythe ou réalité ? (1ère partie). Un point de vue éthique sur l'enseignement scientifique.

1995 Repères n°19 p.59-68. Autour de la parution d'un manuel de didactique. (4) Introduire à la didactique des sciences, une gageure aussi périlleuse que nécessaire !

1993 Repères n°10 p.123-158. Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse.

1992 PLOT n°61. p. 2-13. Le regard scientifique.

1990 Enseigner autrement les mathématiques en Deug A première année. Circuit ou les règles du jeu mathématique. p. 129-161.

1990 Recherches en didactique des mathématiques. Vol. 9. n°3. p. 365-406. Rationalité et démonstration mathématiques, le rapport de la classe à une communauté scientifique.

1989 Du collège au lycée pour mieux réussir.

1986 Les cahiers de didactique n°22. Une séquence d'enseignement sur l'intégrale en DEUG A première année.

1983 Petit x n°3 p.40-41. Expérience... Isolant ou conducteur ?

1983 Petit x n°3 p.68-75. Qu'est ce que le courant électrique ?

1983 Petit x n°1 p.57-73. Les cosmonautes. Compte rendu d'une recherche du groupe "apprentissage du raisonnement" de l'IREM de Grenoble.

Par Thomas Lecorre et Liouba Leroux

2007 PLOT n°19 p.2-15. Le « débat scientifique » en classe.