

LES TPE COMME PROBLEME DIDACTIQUE

Yves Chevallard

IUFM d'Aix-Marseille

I. INTRODUCTION

Les **travaux personnels encadrés** ont été mis en place, à partir de la rentrée 2000, dans les classes de première des lycées d'enseignement général et technologique. La violence symbolique de leur imposition à une institution scolaire malmenée, et les conditions incertaines de leur mise en route, ne doivent pas masquer que cette innovation, dont la pérennité n'est aujourd'hui nullement assurée, constitue pourtant un analyseur de l'ordre didactique établi au lycée, où la séparation disciplinaire, qui gouverne sans faiblesse la transposition et le fonctionnement de l'énorme masse de connaissances diffusées par l'École, ne s'allège que pour laisser voir les tensions interdisciplinaires qu'elle peine à dissimuler.

Comment penser alors le surgissement des TPE dans la culture didactique scolaire et les effets qu'ils pourraient avoir sur l'École comme opérateur de diffusion de connaissances ? Les TPE ne seraient-ils, à l'instar de quelques autres dispositifs, qu'une simple verrue sur le visage boursoufflé d'un curriculum trop souvent livré au scalpel des chirurgiens des programmes ? Ou bien y aurait-il en eux, sans que quiconque les y ait mises, de plus profondes leçons à entendre ? Dans quels termes un tel enseignement peut-il se dire ? Et quel sort promet-il aux mathématiques, à ceux qui les enseignent, à ceux aussi qui en étudient la didactique ? Telles sont quelques-unes des questions auxquelles on se réfère brièvement dans ce qui suit.

II. QUE SONT LES TPE ?

Le projet officiel de mettre en place, dans les classes de première des séries générales (S, ES et L), des "Travaux personnels encadrés" (TPE) vise à créer **un type nouveau de systèmes didactiques scolaires**. Nous en présentons rapidement la conception officielle en suivant, pour faire court, la circulaire de rentrée publiée au BO n° 3 du 20 janvier 2000.

“ Les TPE, y lit-on d’entrée, représentent une innovation pédagogique forte de la réforme du lycée et un enjeu stratégique important, symbolique de toute une évolution des pratiques pédagogiques ”.

De quoi s’agit-il au juste ? Dans le dispositif des TPE, les élèves “ réaliseront une seule production en travail personnel encadré au cours de l’année de première”. Ils “ travailleront en autonomie, par groupes ou individuellement ”, en faisant porter leur effort “ sur un projet articulant des notions issues des programmes de deux disciplines dominantes de la série ”.

Quel doit être l’objet de ces travaux ? Selon la circulaire de rentrée, “ des thèmes seront sélectionnés par les professeurs et les documentalistes à partir de la liste nationale de thèmes² [...] pour que les professeurs des disciplines concernées puissent établir des propositions de sujets à présenter aux élèves à la rentrée”. Corrélativement, “ les élèves seront répartis dans différents groupes autour des sujets choisis sur les conseils des enseignants ”.

Selon quelles modalités les travaux se déroulent-ils alors ? Tout d’abord, “ un carnet de bord, tenu par chaque élève, permettra de mesurer la progression du travail ”. Ensuite, ce travail devra aboutir “ à une réalisation concrète qui fera l’objet d’une communication orale, lors de l’évaluation qui sera effectuée en fin d’année scolaire, à une date arrêtée par l’équipe pédagogique ”. Enfin, “ les résultats de cette évaluation des compétences développées par les TPE seront portés sur le livret scolaire ”.

De quels moyens ce nouveau dispositif de formation bénéficie-t-il ? Il est prévu que “ pour mettre en œuvre les TPE, 72 heures par division seront à répartir entre les professeurs concernés”. Au-delà, une véritable mobilisation doit être conduite dans les établissements “ afin d’assurer dans les meilleures conditions possibles une mise en œuvre rapide des TPE à partir de l’année 2000 en classe de première ”. Dans cette perspective, indique la circulaire citée,

– “ il est souhaitable que les chefs d’établissement engagent dès cette année une réflexion et des échanges à l’intérieur de leur établissement sur ce nouveau dispositif pédagogique ” ;

² Pour la série S, cette liste comportait en 2000-2001 les thèmes suivants : “ Croissance ”, “ Eau ”, “ Images ”, “ Risques naturels et technologiques ”, “ Science et aliments ”, “ Temps, rythmes et périodes ”.

- “il est indispensable de prévoir dès à présent et dans chaque lycée les conditions qui permettent un accompagnement pratique et matériel répondant aux besoins des équipes pédagogiques, enseignants et documentalistes” ;
- “les aides-éducateurs [...] permettront, par leur présence, d’élargir l’accès aux salles spécialisées et aux salles de travail individualisé, éléments nécessaires au bon déroulement des TPE”.

La circulaire expose alors la panoplie des objectifs à atteindre “à partir d’un inventaire exhaustif des salles, des équipements, des matériels et des ressources documentaires” :

- “aménagement du CDI (espace de recherche documentaire et de consultation de documents sur tous supports, petites salles satellites pour le travail individualisé)” ;
- “salles et matériels dédiés aux sciences expérimentales ou aux disciplines artistiques” ;
- “création, sur le réseau interne à chaque établissement, d’un espace d’échanges destiné à faciliter le suivi des projets, le travail d’équipe, la publication des projets des élèves (qui pourront ensuite être mis en ligne sur le site de l’établissement)” ;
- “mise en réseau de l’établissement et connexion au réseau Internet” ;
- “modes d’organisation permettant un accès généralisé aux postes informatiques multimédias, connectés au réseau Internet” ;
- “possibilités données aux enseignants de consulter et de modifier à distance les ressources mises à la disposition des élèves sur le réseau, dans le cadre des TPE”.

Dans cet effort, les enseignants sont évidemment aux avant-postes – de concert avec les élèves et, bien sûr, avec leurs collègues documentalistes. “Si les TPE ne doivent pas être réduits à la simple constitution de dossiers thématiques, précise le texte cité, ils supposent néanmoins un travail préalable important de recherche documentaire”. Ce travail incombe aux enseignants “chargés de guider les élèves dans la définition et l’élaboration de leur projet”, aux élèves eux-mêmes, “qui auront à effectuer des recherches en autonomie et à savoir les utiliser avec pertinence”, enfin aux “documentalistes des CDI sollicités par les enseignants comme par les élèves”.

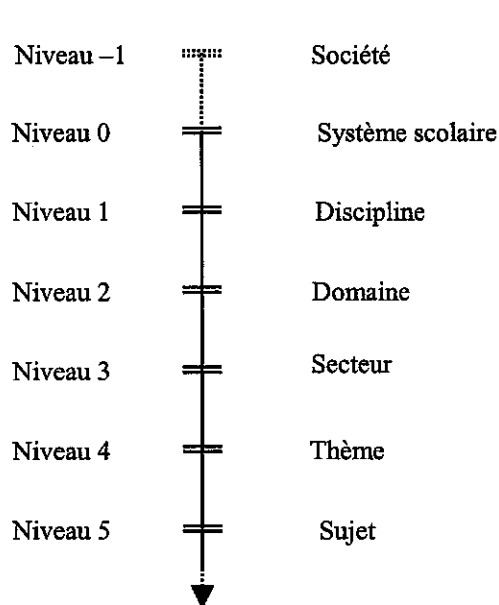
Il découle de là qu’il est “nécessaire de mettre à la disposition des équipes pédagogiques un réseau de ressources documentaires complétant les ressources des établissements qui doivent d’ores et déjà être recensées pour faciliter la mise en route des projets de travail.” À cet égard, plusieurs dispositions sont énoncées :

- “le CNDP et les CRDP constitueront des ressources méthodologiques et documentaires accessibles aux enseignants et aux documentalistes” ;

- “au niveau académique, des IA-IPR des disciplines concernées et des documentalistes seront invités par les recteurs à prendre l’attache des CRDP pour orienter la présentation des ressources documentaires relatives aux thèmes en fonction des programmes” ;
- “il est également nécessaire que les CRDP et les CDDP soient conviés dans les établissements pour faire connaître aux enseignants leurs compétences, leurs missions et leurs produits documentaires” ;
- “les ressources nationales seront mutualisées via le réseau Internet. Des ressources didactiques pourront également être mises en ligne sur les serveurs académiques sous la responsabilité des IA-IPR”.

III. LES TPE OU LA DEREGULATION

La didactique des mathématiques (DDM) peut être définie comme la *science de la diffusion des connaissances et des savoirs mathématiques dans les institutions de la société*. Il résulte de là en particulier que le territoire de la DDM dans l’institution scolaire inclut les classes de mathématiques, mais aussi de *physique*, de *chimie*, de *technologie*, de *biologie*, de *géologie*, de *géographie*, etc., et, bien sûr, *les TPE*. D’où la pertinence pour les didacticiens des mathématiques d’enquêter en tant que tels sur les TPE.



Pour étudier l’économie didactique des TPE, on introduit un outil fondamental – la hiérarchie des *niveaux de détermination* d’une *organisation didactique*, représentée sur le schéma ci-contre, et dont on ne donnera ici qu’un commentaire minimal :

– le niveau 0 est le niveau *pédagogique*, celui des conditions offertes et des contraintes imposées, dans le cadre du système scolaire existant, à l’étude, dans le type de systèmes didactiques considéré, d’une question Q quelle

qu’elle soit ;

– le niveau 1 (respectivement 2, 3, etc.) est le niveau des conditions offertes et des contraintes imposées à l’étude, dans le type de systèmes didactiques considéré, d’une question Q regardée

comme relevant du niveau correspondant de détermination (celui de la discipline, du domaine, du secteur, etc.) de l'organisation de savoir dont elle relève.

Une première remarque peut alors être faite à propos de l'“ implémentation ” dans le système scolaire³ du projet ministériel de TPE : cette implémentation engendre un mini-monde didactique – celui des TPE – dont la hiérarchie des niveaux est en fait à construire presque entièrement.

Devant cette situation, selon un très ancien *habitus*, les professeurs observés mettent en avant les deux niveaux qui, de manière réductrice mais effective, se sont historiquement imposés comme ceux de toute négociation entre l'intérieur et l'extérieur du système scolaire – le niveau 0, c'est-à-dire le niveau pédagogique, et le niveau 1, celui de la discipline (mathématiques, physique et chimie, biologie et géologie, etc.).

Dans ce contexte, le niveau pédagogique est présenté d'abord comme l'alpha et l'oméga de l'affaire : pendant plusieurs mois, celle-ci semble presque toute entière suspendue à un unique problème – celui de la surveillance des élèves⁴. À côté de cela, les enseignants découvrent, lors des stages de formation⁵, l'incroyable variété – d'un établissement à l'autre, voire d'une division à l'autre – de choix que l'on croyait uniques parce qu'ils étaient vécus comme naturels et allant de soi.

Au niveau 1, celui de la discipline, les professeurs ont avec un bel ensemble mis en avant la préservation de ce que l'histoire a constitué en emblème de leur discipline : ainsi de “ *l'expérience* ” dans le cas des sciences dites expérimentales, physique-chimie et biologie-géologie. Le cas des mathématiques présentait une variante intéressante : cette discipline scolaire ayant, depuis des décennies, oblitéré ses liens organiques avec les autres disciplines⁶, ses servants ont surtout eu à cœur de ne pas la voir retomber dans une dépendance épistémologique dont elle avait pu se croire entièrement libérée – l'accord se faisant alors sur la crainte d'être “ instrumentalisés ”.

³ On se réfère ici à la mise en place des TPE en série S, et plus précisément à ce qu'on a pu en observer dans le cadre de stages de formation où se sont côtoyés des professeurs des trois disciplines dominantes de la série S représentant un grand nombre de lycées de l'académie d'Aix-Marseille.

⁴ Dans la mesure où ces derniers sont amenés à circuler dans l'établissement, voire hors de l'établissement, pendant les heures de TPE.

⁵ Voir la note 2.

⁶ Voir Yves Chevallard, “ Les mathématiques et le monde : dépasser “l'horreur instrumentale” ”, *Quadrature*, n° 41, p. 25-40.

Aux niveaux plus profonds de détermination didactique, on notera un fait crucial : le mot d'ordre d'*autonomie* des élèves lancé par le ministère (les élèves “ travailleront en autonomie, par groupes ou individuellement ”) a eu des effets mal anticipés, conduisant en un premier temps à l'*anomie* des TPE et, corrélativement, à la prolifération *idionomique*⁷, chaque professeur tendant spontanément à élaborer ses propres règles dans sa relation aux élèves encadrés. Par contrecoup, ce phénomène ravageur a conduit les professeurs⁸ à redécouvrir l'exigence *synnomique*⁹, c'est-à-dire l'ardente obligation d'élaborer ensemble des règles partagées, pour corriger, entre autres choses,

- l'oubli de contraintes non dépassées de l'économie des systèmes didactiques, par exemple la nécessité du travail *hors classe*, pour l'élève comme pour le *professeur*,
- la reconduite subreptice de contraintes non idoines, telle l'imposition *a priori* de contenus de savoir disciplinaires à “ intégrer ” dans le produit du travail personnel encadré,
- l'absence de règles idoines, telle la distinction des rôles de *directeur d'étude* et de *consultant expert*¹⁰.

IV. LA DIFFUSION SIGNIFIANTE DES CONNAISSANCES

L'ensemble de faits précédent conduit à reprendre l'ensemble du projet à la lumière de l'approche anthropologique en DDM, dont on rappelle ici certaines notions de base.

Les TPE apparaissent formellement très proches du schéma fondamental de l'étude, par lequel on peut définir la *diffusion signifiante des connaissances*. En ce sens, donc, les TPE peuvent être regardés comme un retour aux sources de l'École, considérée dans sa mission d'instruction publique¹¹.

La réalisation concrète du schéma fondamental de l'étude suppose en effet d'abord une *question Q* à étudier, une équipe *X* qui *étudie Q*, une équipe *Y* qui *dirige* l'étude de *Q* par *X* : soit au total un système *didactique S(X; Y; Q)*. Le fonctionnement de *S(X; Y; Q)* engendre alors *une réponse R*, fragment d'une organisation de savoir en construction : $S(X; Y; Q) \rightsquigarrow R$.

⁷ Du grec *idios*, privé, particulier, et *nomos*, loi.

⁸ Nous ne savons rien, de ce point de vue, sur ce qu'il en est du côté des élèves.

⁹ Du grec *sun*, avec.

¹⁰ On se réfère ici à un schéma rarement observé sous une forme spontanée : l'équipe d'élèves engagée dans un TPE est dirigée par un *unique* professeur, possédant une affiliation disciplinaire déterminée (mathématiques, physique, etc.), tandis que d'autres professeurs, affiliés à d'autres disciplines, sont consultés régulièrement afin d'exercer un contrôle scientifique sur les aspects du TPE qui relèvent de leurs compétences ; on peut même envisager qu'un professeur directeur d'étude d'une équipe de TPE sollicite à titre de consultant un collègue de la *même* discipline – par exemple sur des questions qu'il estimerait mal connaître.

La production de la réponse R suppose des *savoirs*, anciens et nouveaux, et, plus généralement, des *œuvres*, $R_1, \dots, R_n$, qui constituent un *milieu* pour la production de R (selon le schéma : $S(X; Y; Q)_{|R_1, R_2, \dots, R_n} \rightarrow R$), et que cette production (re)motive, c'est-à-dire qui trouvent là une (nouvelle) *raison d'être*, tout comme la réponse R elle-même.

On dira en effet d'une œuvre O qu'elle est *motivée dans une institution I* si elle y apparaît comme *permettant de répondre* à une ou plusieurs questions, ou comme *réponse* à une question Q , c'est-à-dire s'il existe $X, Y, Q, R_1, \dots, R_n, R$ tels que $S(X; Y; Q)_{|R_1, R_2, \dots, R_n} \rightarrow R$, avec $O \in \{ R_1, \dots, R_n, R \}$.

De ce point de vue, on peut espérer que les TPE participent à un mouvement aujourd'hui crucial de (re)motivation des connaissances et savoirs diffusés par l'École. On va voir pourtant que cette espérance se heurte à des obstacles propres à la culture didactique scolaire telle que l'histoire l'a construite.

V. LE RECOPIAGE CULTUREL

L'École, on l'a suggéré, est une institution qui doit permettre aux jeunes générations d'entrer dans la société, en "entrant" dans ses *questions* et dans ses *œuvres*, en *étudiant* un large choix de ses questions, et en *motivait* ainsi un large choix de ses œuvres, c'est-à-dire en faisant apparaître de telles œuvres comme engendrées, directement ou indirectement, par la production de réponses à un certain choix de questions.

Mais ce schéma est *peu stable* : la plupart des institutions scolaires vont, à la longue, enseigner directement *les réponses* (qui cessent alors d'apparaître comme telles), en *oubliant les questions* qui les engendreraient. L'École va ainsi être tentée de *recopier* les œuvres de la culture de manière immotivée, ou plutôt uniquement motivée par leur inscription dans la culture.

S'il est vrai que cette diffusion "insignifiante" des œuvres par l'École n'interdit pas absolument leur appropriation signifiante par *quelques-uns* des sujets de l'École, il n'en reste pas moins que l'École, ou du moins toute une partie de l'École, tend aujourd'hui à apparaître, globalement, comme une institution de recopiage culturel, propédeutique à l'épistémologie culturellement dominante dont les jeux télévisés offrent souvent une mise en œuvre à peine caricaturale.

¹¹ Nombre d'acteurs et d'observateurs, identifiant l'étude aux pratiques scolaires existantes, ont pu conclure, à l'inverse, que les TPE étaient le commencement de la fin d'une certaine École : la chose n'est pas contradictoire avec l'affirmation faite ici.

Dans le cas des TPE, la tentation du recopiage culturel est sensible dès les textes officiels, qui, en opposant à cette tendance lourde de l'évolution scolaire la quiète distinction du *thème*, du *sujet* et de la *problématique*, offrent aux blandices de la culture – motivante parce qu'immotivée – un trop fragile barrage. De cela témoignent superlativement la liste des *sujets* proposés en tel lycée (voir l'encadré), où se montre sans fard la laborieuse volonté de s'enfermer dans le circuit clos du recopiage culturel, sans qu'aucune question ne soit placée au principe de la quête de culture que les TPE devraient inspirer.

Lycée X***

TPE - Série S

Thème : *Temps, rythmes et périodes*. Sujets proposés :

– *Du sablier à l'horloge à quartz* : le repérage du temps et la mesure des durées.

Principe des horloges. Réalisation d'un signal périodique électrique

– *La flèche du temps* : l'écoulement du temps. La machine à remonter le temps. La réversibilité et l'irréversibilité des transformations physiques et chimiques. Chutes des objets, réactions naturelles. Illustration vidéo de l'irréversibilité

– *La propagation des ondes* : dans le domaine des sons et des ondes de déformation des liquides. Dégager l'expression du principe de propagation. Montrer expérimentalement la possibilité d'ondes dites stationnaires. Envisager et rechercher dans le domaine des sons leur utilisation.

– *Les sons musicaux, la gamme* : donner une relation entre les grandeurs physiques (périodes, fréquences, intensité) et les grandeurs musicales (ton, gamme...). Suite géométrique des tons à l'octave.

– *Datation par éléments radioactifs* : principe de la décroissance radioactive. Période radioactive. Applications.

– ...

Par contraste, pour être fidèle au principe de la diffusion signifiante des œuvres, il convient au contraire que le sujet de l'étude se présente comme une question *Q*, *naïve* tant qu'on

voudra, à laquelle on n'hésite pas à imposer la forme interrogative, et que l'on *étudiera* en vue d'y apporter au moins des *éléments de réponse*.

Agissant comme élève *in partibus*, l'auteur de ces lignes s'est ainsi soumis à l'épreuve de l'étude de trois questions formulées, elles, par des élèves bien réels de Première S :

- le premier sujet, relatif à la peste¹², n'était pas, par exemple, *La peste noire au Moyen Âge*, ou encore *La peste de 1720 à Marseille*, "sujets" qui auraient fait verser presque imparablement du côté du recopiage culturel, mais a pris la forme d'une question toute simple : " *Comment se fait-il qu'on n'attrape plus la peste aujourd'hui ?* " ;
- sur le même modèle, le deuxième sujet, qui avait trait aux "risques du nucléaire civil", s'énonçait ainsi : " *Pourquoi a-t-on fermé Tchernobyl ?* " ;
- le troisième sujet, enfin, portait sur les comètes et astéroïdes et tenait dans cette question redoutable : " *Sommes-nous à l'abri d'un choc céleste ?* " .

La formulation interrogative ne saurait prévenir à elle seule le risque de dérive vers la démotivation. De fait, une telle dérive a pu s'abriter derrière une métaphore souvent entendue selon laquelle, au cours d'un TPE, la question de départ "évoluerait", cette "évolution" masquant en vérité la substitution subreptice, à la *question Q* posée initialement, de *réponses R'*, *R''*, etc., trouvées toutes faites dans les répertoires culturels, sans que les questions correspondantes, *Q'*, *Q''*, etc., aient été envisagées. À cette métaphore intéressée, il convient donc d'en opposer une autre : ce n'est pas la question initiale *Q* qui évolue, c'est *l'étude de cette question* – et non d'une autre – *qui, en se développant, engendre d'autres questions Q₁, Q₂, etc.*, en ce sens que la production de la réponse *R* visée apparaît comme supposant l'étude préalable, à titre de moyens (et non de fin), des questions *Q₁, Q₂, etc.*

VI. ÉTUDIER UNE QUESTION

L'étude d'une question *Q* peut être modélisée comme un entrelacement de cycles à *cinq temps* : *observation* de réponses *R₀* déposées dans les œuvres¹³ ; *analyse*, expérimentale et théorique, des réponses *R₀* ; *évaluation* de ces mêmes réponses *R₀* ; *développement* d'une réponse *R* ; enfin *défense & illustration* de la réponse *R* ainsi produite.

De manière optimale, ces temps de l'étude devraient être menés à bien dans un espace de travail structuré par des tensions bipolaires que l'on nommera, pour cela, des *dialectiques*,

¹² Les trois sujets indiqués relèvent tous d'un même thème, celui des "risques naturels et technologiques".

¹³ La notation *R₀* (lue "r poinçon") manifeste le fait que ces réponses participent d'œuvres institutionnellement "estampillées".

et que l'on décrit succinctement dans ce qui suit en faisant ressortir en quoi, dans la culture didactique scolaire actuelle, elles apparaissent encore largement *bloquées*.

La première dialectique est celle *du sujet et du hors-sujet* : contre le postulat scolaire du plus court chemin, qui ne conduit jamais qu'à un but déterminé à l'avance, elle pousse, dans une recherche en principe *ouverte*, à risquer le hors-sujet tant en matière de recherche documentaire par exemple¹⁴ que dans le choix des questions engendrées dont on entamera l'étude.

La deuxième dialectique est celle *du parachutiste et du truffier* : contre l'habitus scolaire de la rareté documentaire¹⁵, elle porte à "ratissier" de *vastes zones*, où l'on sait *a priori* qu'on ne trouvera pas grand-chose, mais où pourra advenir *de l'inattendu*, et où l'on apprendra à repérer les rares "pépites", souvent peu visibles, qui feront progresser la recherche.

La troisième dialectique est celle *des boîtes noires et des boîtes claires* : contre le primat de la connaissance disponible et la propension à clarifier les boîtes... claires enchâssées dans les savoirs enseignés, elle invite à donner le primat à la connaissance *pertinente*, fût-elle impertinente envers les savoirs enseignés, à limiter au nécessaire la clarification (les boîtes "claires" sont toujours des boîtes *grises*), à prendre le risque, donc, de clarifier des boîtes noires ordinairement abandonnées aux ténèbres extérieures, et d'obscurcir des boîtes claires dans le curriculum familial, enfin à traquer les boîtes "invisibles" parce que "transparentes", pour *déconstruire les évidences* de la culture de l'institution d'accueil chaque fois que c'est utile.

La quatrième dialectique est celle *de la conjecture et de la preuve* : contre la mise à l'épreuve réglée à l'avance¹⁶ d'assertions réputées sûres en vertu surtout de l'autorité de l'institution, elle engage à soumettre les assertions obtenues à la critique des diverses dialectiques et à évaluer le degré d'incertitude d'une assertion donnée.

¹⁴ En opposition avec l'un des principes apparemment les mieux établis – et pour cause ! – de la profession de documentaliste.

¹⁵ Même dans les disciplines qui pratiquent "abondamment" le travail documentaire.

¹⁶ Par exemple par des "expériences" parfois ambiguës, telles qu'il arrive aux sciences "expérimentales" d'en pratiquer.

La cinquième dialectique est celle *de l'excription*¹⁷ *et de l'inscription* : contre le recopiage de réponses R_0 , corrélatif d'une écriture déterministe, contre aussi le dogme du "plan" préalable à un écrit pré-inscrit, elle convie à entrer dans la dialectique de la lecture excriptrice de réponses R_0 et de l'écriture inscriptrice d'une réponse R , en multipliant les niveaux d'écrit (carnet de bord, notes de synthèse, le glossaire, production finale).

La sixième dialectique est celle *de la diffusion et de la réception* : contre la tentation de ne pas défendre sa réponse R , supposée par avance connue et reconnue, contre l'opportunisme à l'endroit de R afin de complaire à qui l'on s'adresse, elle provoque à défendre R sans infidélité mais dans l'attention à ce qu'autrui en peut recevoir.

La création d'un synnomie didactique adéquate en matière de TPE se pose aux différents niveaux de détermination. En particulier, elle ne saurait qu'être contemporaine de la création d'une culture scolaire amicale aux dialectiques de l'étude – ce qui, en soit, est déjà un très vaste programme.

VII. MATHEMATIQUES CODISCIPLINAIRES

L'un des principaux obstacles au projet de TPE demeure cependant la faiblesse des liens entre disciplines au sein de l'École. Les œuvres $R_1, \dots, R_n$ que mobilise la production d'une réponse R , c'est-à-dire les œuvres telles que $S(X; Y; Q)_{R_1, R_2, \dots, R_n} \rightsquigarrow R$, sont généralement *hétérogènes*. Cette *hétérogenèse* de R n'est, en général, nullement *monodisciplinaire*. Contre la *séparation* disciplinaire, contre les *tensions* interdisciplinaires, qui sont l'ordinaire du régime épistémologique scolaire, la production de R suppose en général une *coopération disciplinaire*, c'est-à-dire une pratique d'étude et de recherche véritablement *codisciplinaire*.

Comment se pose alors, aujourd'hui, le problème de la présence des mathématiques dans les TPE, et plus généralement dans la production d'une réponse R à une question Q ?

On peut penser qu'il y a là, en vérité, une chance à saisir : contre le silence mathématique de nombre de réponses R_0 pourtant produites avec des mathématiques, les mathématiques ont à *(re)conquérir leur place* dans la production des réponses R .

¹⁷ Sur cette notion, voir ma communication au Séminaire national du 18 octobre 1998.

À titre d'exemples, on pourrait ainsi montrer que, dans l'étude de la question *Comment se fait-il qu'on n'attrape plus la peste aujourd'hui ?*, le modèle mathématique traditionnel (1927), à savoir

$$\begin{cases} x' = -\beta xy \\ y' = \beta xy - \gamma y \\ z' = \gamma y \\ x(0) = x_0 > 0 \\ y(0) = y_0 > 0 \\ z(0) = 0 \end{cases}$$

(où $x(t)$ est l'effectif des *susceptibles*, $y(t)$ celui des *contagieux*, et $z(t)$ celui des *immunisés*), à la fois conforte et expose la *pauvreté* de la réponse traditionnelle quant à la diffusion de la peste (et d'autres "épidémies").

De manière analogue, à propos de la question *Pourquoi a-t-on fermé Tchernobyl ?*, on gagnera à observer que le modèle mathématique de la désintégration radioactive, bien diffusé, et formellement "optimiste", gêne la diffusion d'un modèle exponentiel moins agréable, qui donne le nombre n de molécules *non* endommagées lorsqu'une cellule est soumise à une dose D de radiations ionisantes : $n = n_0 e^{-kD}$, avec, bien sûr, $k > 0$.

Quant à la question *Sommes-nous à l'abri d'un choc céleste ?*, notons simplement que, selon tel auteur non dépourvu *a priori* de compétences¹⁸, "statistically, the chance of any one person killed by a major comet impact in any one year may be only about 1 in 2 million, but that still means that on average 2,700 people are killed by large comets each year, 390 in the developed world alone". C'est là faire un usage tout à fait explicite d'un modèle mathématique qui, pour une diffusion sociale bien contrôlée des connaissances, demanderait sans doute à être interrogé et sur ses tenants et sur ses aboutissants.

¹⁸ John Gribbin, *The Little Book of Science*, Penguin Books, 1999, p. 92-93.