

TRAVAUX PERSONNELS ENCADRÉS OU L'EFFET CAUSAL DE L'INTERDISCIPLINARITÉ

Corinne Fortin

Le décloisonnement des disciplines apparaît comme le point nodal du dispositif des travaux personnels encadrés (TPE). Sa mise en pratique conduit à une recontextualisation des savoirs disciplinaires autour d'une problématique donnée.

À partir de témoignages d'enseignants et d'élèves, ainsi que d'observations de classe, cet article se propose d'analyser quelques exemples de pratiques pédagogiques et de stratégies de résolutions de problème, en situation de travaux personnels encadrés, en relation avec cette perspective interdisciplinaire. Il apparaît qu'en contraste avec les sujets de TPE s'intéressant aux effets d'un phénomène, ceux qui conduisent à se poser la question des causes d'un phénomène sont plus favorables à la mise en œuvre d'une certaine interdisciplinarité et de la structuration des connaissances.

objectif « TPE » :

Inscrite dans la réforme du lycée, la mise en place des travaux personnels encadrés (TPE) en 2001 a été présentée comme « un enjeu stratégique important, symbolique de toute une évolution des pratiques pédagogiques » (BO n° 3, 20/01/2000). L'ambition de ce nouveau dispositif est de promouvoir une démarche de décloisonnement des disciplines, et de rénovation des pratiques pédagogiques (BO n° 24, 22/06/2000 et n° 24, 14/06/2001).

Donner à l'élève l'initiative dans la gestion des apprentissages, tel est l'objectif annoncé par la DESCO (1) :

– **Travaux** : « Les TPE offrent aux élèves l'occasion de mener à bien une réalisation concrète qui leur permet d'enrichir leurs savoirs, de développer des compétences et d'affiner leurs méthodes. »

– **Personnels** : « Sur un sujet dont ils ont délimité les contours, les élèves, en évitant une simple compilation, élaborent en collaboration avec d'autres élèves une production, individuelle ou collective, à partir de ressources variées. »

– **Encadrés** : « Les professeurs accompagnent la prise d'autonomie des élèves ; ils leur signalent les impasses, relancent leur motivation et vérifient l'ancrage de leurs recherches dans les savoirs. »

modifier
les pratiques
pédagogiques

Dans le cadre des TPE, les élèves choisissent un sujet, et définissent eux-mêmes leur problématique. Le carnet de bord retrace la chronologie des informations recueillies, mais aussi celle des hypothèses, questionnements et raisonnements

(1) *Mise en œuvre des TPE*. Direction de l'enseignement scolaire, ministère de l'Éducation nationale, octobre 2000.

formulés. En fin de TPE, la présentation orale permet à chaque membre du groupe d'explicitier certains points, et de faire valoir auprès des professeurs évaluateurs l'originalité de la production réalisée. Autonomie et travail collectif sont ainsi privilégiés, les enseignants jouant un rôle de soutien et d'accompagnement.

dans la lignée
d'autres
dispositifs...

Si les TPE visent à renouveler les pratiques pédagogiques, ils ne constituent pas pour autant une nouveauté. D'autres approches éducatives ont en commun avec les TPE de s'organiser autour de la motivation de l'élève, plutôt que de lui imposer un savoir institutionnellement défini. Dès les années soixante-dix, la *pédagogie par objectif* (PPO) introduite par Mager (1977) vise à rationaliser la démarche explicative des enseignants. Il s'agit d'indiquer précisément aux élèves la nature des objectifs à atteindre (connaissances, compétences, etc.) afin d'assurer une meilleure cohérence entre progression et évaluation pédagogiques. Puis dans les années quatre-vingt se développe la *pédagogie de projet* (PP) centrée principalement sur l'élaboration d'un projet proposé par les élèves, et non par l'enseignant. Les élèves structurent leurs connaissances à partir d'activités qu'ils ont choisies. Mais le rythme de construction des savoirs n'est pas commun à tous les élèves. C'est ce que Mougnotte (1993) nomme la *pratique personnelle de l'enfant* (PPE) pour caractériser l'organisation individuelle du travail de l'élève, différente parfois de celle du groupe-classe. À des degrés divers, les TPE intègrent des éléments des PPO, PP et PPE, donnant une place centrale au projet de l'élève.

...mais en donnant
davantage de
place à
l'interdisciplinarité

Mais les TPE ont aussi pour objectif de proposer un travail interdisciplinaire. Introduite dès les années soixante-dix dans l'enseignement (Legrand 1978), l'interdisciplinarité n'occupait jusqu'à présent qu'une position marginale. En effet, sortir du cadre habituel de la mono-disciplinarité est une situation déstabilisante aussi bien pour les enseignants que pour les élèves.

développer
de nouvelles
compétences
et méthodes

Côté enseignant : comment coopérer entre disciplines ? maintenir un *statu quo*, adapter, ou renouveler des pratiques pédagogiques ?

Côté apprenant : l'approche interdisciplinaire modifie-t-elle le rapport à la résolution de problème ?

En nous appuyant sur des témoignages d'élèves et d'enseignants, sur l'analyse de fiches personnelles d'élèves, ainsi que sur l'observation de séquences TPE, nous avons tenté d'apporter des éléments de réponses, et proposé quelques pistes de réflexion.

Précisons cependant qu'il s'agit d'un travail exploratoire dont les résultats ponctuels décrivent un premier état des lieux mais n'autorisent pas d'emblée une généralisation.

1. TENTATIVE DE CARACTÉRISATION DE L'INTERDISCIPLINARITÉ EN SITUATION DE TPE

Approche indispensable pour résoudre des problèmes globaux (environnementaux, socio-économiques, socio-éducatifs, etc.), l'interdisciplinarité fait l'objet de nombreuses réflexions et recherches. Mais la rencontre entre les disciplines, en contexte scolaire, ne va pas toujours de soi.

en évitant
globalisme
et réductionnisme...

Ainsi, relier les disciplines, en évitant d'adopter des positions extrêmes (réductionnisme ou globalisme), constitue une difficulté à la mise en œuvre de l'interdisciplinarité (Rumelhard & Desbeaux-Salviat 2000). De plus, la pratique de l'interdisciplinarité ne s'improvise pas, mais nécessite une formation des enseignants intégrant à la fois les savoirs professionnels et les savoirs disciplinaires (Lenoir *et al.* 2001). Enfin, la démarche interdisciplinaire répond à une problématique donnée, dans un contexte donné, aux préoccupations d'un public donné.

La nécessité du dépassement des frontières disciplinaires correspond donc à la construction d'une nouvelle représentation, où seule une approche globale permet de produire un nouveau réseau de connaissances pour résoudre un problème particulier (Fourez *et al.* 2002).

construire une
organisation
interdisciplinaire

On retrouve cette perspective d'intégration des connaissances dans les recommandations officielles : « *Du temps est donné aux équipes pédagogiques pour construire une organisation capable de soutenir l'adhésion des élèves et pour leur permettre de mener un véritable travail interdisciplinaire [...] une démarche inscrite dans la durée, [...] de caractère pluridisciplinaire : les TPE doivent croiser au moins deux disciplines* » (extrait du BO du 22 juin 2000).

L'objectif recherché est donc de croiser au moins deux disciplines. Mais comment concevoir ce croisement : comme une simple convergence ou bien comme une interaction ?

1.1. Cloisonner et décloisonner les disciplines : une double nécessité

Bien que l'organisation de l'enseignement au lycée soit cloisonnée en disciplines, le terme de cloisonnement est sans doute excessif car s'il existe une frontière, elle est toutefois perméable : contiguïté, voire continuité sont possibles.

entre disciplines,
une frontière
perméable

Il subsiste malgré tout une irréductible discontinuité caractérisée par des concepts propres à chaque discipline : le *nombre* en mathématiques, la *vitesse* en physique, le *gène* en biologie, etc. Ainsi la description mathématique ou physico-chimique de processus biologiques est limitative, et ne peut rendre compte, à elle seule, des concepts de reproduction, d'espèce, d'évolution, etc. Il en est de même, pour les mathématiques et les *sciences physiques* : aucune de ces

deux disciplines ne peut se substituer à l'autre, sans l'amputer de ses concepts fondateurs. En effet, l'objet d'étude réclame une analyse *sui generis* des concepts et des compétences. Renoncer à cette rupture du champ disciplinaire revient à nier le fondement de chacune des disciplines, et peut avoir pour conséquence d'en assujettir l'une à l'autre.

l'interdisciplinarité :
du transfert ...

Décloisonner les disciplines permet de « donner du sens » et de montrer aux élèves que les connaissances et méthodes acquises dans une matière peuvent être *transférées*, c'est-à-dire réutilisées pour résoudre divers problèmes. Mais les TPE sont-ils d'ordre pluridisciplinaire (juxtaposition, complémentarité des connaissances), interdisciplinaire (intégration des savoirs) ou bien transdisciplinaire (transfert d'outils entre disciplines) ? Ou bien encore, s'agit-il de la co-disciplinarité, terme proposé par Blanchard-Laville (2000) pour préciser l'action commune de plusieurs matières dans un même projet. Toutes ces options sont possibles dans le cadre des TPE.

...à l'intégration
des savoirs

Cependant, limiter le croisement des disciplines à un transfert d'outils est parfois trop restrictif, comme le soulignent deux professeurs de mathématiques :

« *On ne fait pas vraiment des maths, mais des applications statistiques, proba* ».

« *C'est rare qu'il y ait une réflexion mathématique, le plus souvent il s'agit de décrire mathématiquement un phénomène biologique ou physique, c'est un peu frustrant* ».

Utiliser les mathématiques comme une discipline-outil pour formaliser des données en sciences expérimentales ne constitue donc pas à proprement parler un decloisonnement des disciplines, puisque l'outil mathématique fait partie intégrante des *sciences physiques* et des *sciences de la vie et de la Terre*.

établir
des connexions
entre disciplines

Pour éviter un morcellement des savoirs, ainsi qu'une incomunicabilité entre disciplines, il importe de fédérer les connaissances acquises. On doit à P. Delattre (1971) pour les sciences expérimentales d'avoir revendiqué l'élaboration d'un langage commun à travers des concepts unificateurs facilitant la communication entre disciplines, à R. Thom (1990) pour les mathématiques, d'avoir précisé le rôle heuristique de l'interdisciplinarité pour résoudre certains problèmes (concept physique de *vitesse instantanée*, et concept mathématique de *dérivée*), et à E. Morin (1999) pour les sciences humaines d'avoir mis en garde contre un cloisonnement qui occulterait les réalités globales.

Repenser le savoir disciplinaire au travers d'une nouvelle cohérence, lui donner du sens, suppose de nouvelles articulations pour enraciner des connaissances spécifiques dans une vision partagée. L'objectif est alors d'établir des connexions entre disciplines pour pallier les carences de la mono-disciplinarité.

le cloisonnement
disciplinaire,
une nécessité
épistémologique

Ainsi en est-il du concept d'*enzyme* qui emprunte à la chimie celui de *catalyse* pour le transposer au vivant. L'interdisciplinarité repose donc sur de nécessaires, mais conflictuelles relations entre disciplines : nécessaires, car il est par exemple impossible de comprendre ce qu'est l'ADN si on ignore le concept de molécule défini en chimie, ou celui d'information tel qu'il est énoncé en génétique ; mais aussi conflictuelles, dans la mesure où il faut impérativement franchir les frontières des disciplines pour en reconstruire parfois une nouvelle, telle la biologie moléculaire fondée sur un nouveau champ conceptuel, celui de molécule informationnelle.

Le cloisonnement disciplinaire apparaît donc davantage comme une nécessité épistémologique, et le décroisonnement comme une nécessité cognitive.

1.2. Obstacles à l'interdisciplinarité

le décroisonnement
disciplinaire,
une nécessité
cognitive

En réalité, la mise en pratique de l'interdisciplinarité suppose un changement de perspective par rapport au contenu disciplinaire, ne reposant pas uniquement sur des méthodes transversales. A défaut, elle se limite à des concepts génériques et à une approche réductionniste.

• **Obstacle des concepts génériques**

Les thèmes proposés pour guider les TPE, tels que *croissance*, *temps*... peuvent être source de confusion en raison de leur polysémie. En effet, bien que portant le même nom, ils ne désignent pas le même contenu conceptuel, selon la discipline.

Prenons la *croissance* ; elle n'a pas la même signification en physique qu'en biologie : en effet, les mécanismes de croissance d'un cristal ne sont pas comparables à ceux d'un organisme. De même, le *temps* qui mesure une durée est un outil pour établir une chronologie (dates, durée d'un événement), pour étudier la vitesse de développement des organes, et pour rendre compte des rythmes endogènes et exogènes. Mais en *sciences de la vie et de la Terre*, le *temps* est aussi un concept historique (évolution des organismes, d'une chaîne de montagne, etc.) qui n'a pas d'équivalent en physique, si ce n'est dans les sciences de l'Univers.

« tout est dans tout,
et réciproquement »

L'obstacle de la pensée holistique, qui ramène la connaissance du particulier à celle de l'ensemble dans lequel il s'inscrit, est de laisser croire à une possible *décontextualisation* des concepts sous l'effet de la seule transversalité. Or les manipuler, sans les expliciter à partir d'un champ disciplinaire donné a paradoxalement pour effet d'annuler le cheminement interdisciplinaire puisque la désignation « générique » des concepts (*croissance* = grandir, se développer, augmenter, etc. ; *temps* = durée, date, époque, etc.), les prive de leur sens spécifique.

René Thom (1984) dans un article intitulé : « *La boîte de Pandore des concepts flous* » s'inquiétait dès les années 80, des abus de langage et contre-sens dont étaient victimes, selon lui, les concepts de « *système, ordre, désordre, complexité, déterminisme, hasard, information...* ». Il craignait qu'émerge à terme, une dilution du sens, et donc de l'intelligibilité. Crainte fondée, si l'on en juge, parfois, par le contenu de certaines productions de TPE où le travail réalisé reste axé sur des généralités, et ne conduit à aucune explication d'ordre conceptuel. Autrement dit, l'interdisciplinarité n'est pas un placage, ni même une extension de concepts d'une discipline à l'autre. En réalité, elle correspond à une nouvelle *contextualisation* et donc restructuration du savoir scientifique pour répondre à de nouvelles problématiques.

l'interdisciplinarité...

...ne se réduit pas
au transfert
d'outils...

• **Risque du réductionnisme**

Les mathématiques sont parfois cantonnées, dans les TPE, au rôle auxiliaire de « mathématiques appliquées » aux *sciences physiques* et aux *sciences de la vie et de la Terre*. Les *sciences physiques* sont elles-mêmes réduites à une « science appliquée » aux *sciences de la vie et de la Terre*. Et ces dernières n'échappent pas à cette réduction, puisque les aspects physico-chimiques et même mathématiques permettent d'accéder un « langage commun ».

...n'est pas le but
des TPE...

Ainsi, le sujet « *Nombre d'or et formes vivantes* » ne garantit-il pas l'interdisciplinarité. Bien qu'il soit intéressant de décrire mathématiquement des fleurs, des coquillages, etc., ces objets naturels ne servent, ici, que de support pour illustrer « l'incarnation » de fonctions mathématiques dans la nature. En revanche, la question de la morphologie d'un organisme pose aux biologistes le problème de la morphogénèse et du contrôle du plan d'organisation par les gènes du développement. Il est ingénieux de procéder à l'inverse, et de partir comme le suggère Y. Bouligand (1980) de la biologie pour aller vers les mathématiques. Il ne s'agit plus seulement d'utiliser les mathématiques comme un outil pour décrire la forme définitive des organismes, mais aussi comme un moyen d'investigation pour modéliser leur développement.

...mais un moyen
d'intégration
de connaissances
et compétences

Décontextualisation et réductionnisme traduisent la difficulté à conceptualiser hors de son propre champ disciplinaire, et à établir des liens conceptuels entre disciplines. En fait, le réductionnisme n'est pas un obstacle en soi, mais souvent un passage obligé en sciences. Toutefois, réduire le biologique au physico-chimique, et ce dernier à une mathématisation, conduit inexorablement à une fragmentation du savoir et non à son unité. L'on obtient alors l'effet inverse de celui escompté.

En conséquence, l'interdisciplinarité, certes au cœur des TPE, n'en est pas le but, mais plutôt un moyen d'intégration

des connaissances et compétences. Encore faut-il distinguer entre l'interdisciplinarité scientifique fondée sur des problématiques de recherche, et l'interdisciplinarité scolaire caractérisée par des contenus disciplinaires, curriculaires, didactiques, etc.

2. MÉTHODOLOGIE

Le décloisonnement des disciplines est au centre du dispositif TPE, mais l'interdisciplinarité ne s'impose pas d'entrée en situation TPE, elle nécessite une maturation. Quels sont alors les obstacles rencontrés et les stratégies adoptées pour articuler les disciplines ?

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, nous avons choisi de nous intéresser à l'impact des TPE sur les pratiques pédagogiques des enseignants, et sur la résolution de problème par les élèves.

L'échantillon sur lequel nous avons travaillé est composé d'enseignants (12) d'un même lycée et d'élèves (18) travaillant en groupe de trois élèves (quatre groupes en classe de première S et deux groupes en classe de terminale S).

Nous avons conduit des entretiens et des observations en classe et recueilli des écrits d'élèves : les *carnets de bords* (2) et les dossiers (19) d'élèves de terminale S, les « fiches personnelles » (67) et les réponses à une question sur les buts de la recherche documentaire (32) d'élèves de première S.

2.1. Pratiques pédagogiques des enseignants

Pour analyser les pratiques des enseignants, nous nous sommes appuyés sur :

- Des entretiens individuels non directifs menés auprès de douze enseignants (trois en *sciences de la vie et de la Terre* (SVT), quatre en mathématiques et cinq en *sciences physiques*). Ces entretiens ont porté sur la communication entre enseignants pendant le TPE (contenu des disciplines, et objectifs pédagogiques), sur leurs conceptions du rôle pédagogique de la problématique, ainsi que sur leurs conceptions de l'encadrement des élèves.

On note qu'aucun des enseignants interviewés n'avait reçu de formation à l'interdisciplinarité.

- L'observation (pendant trois séances TPE) de deux modes d'intervention des enseignants : intervention en parallèle (binôme mathématiques – SVT) et intervention conjointe (binôme *sciences physiques* – SVT). Ces observations ont été réalisées dans deux classes de première S travaillant sur le même thème *croissance* .

- L'observation (pendant deux séances TPE) de pratiques pédagogiques en relation avec le type de problématique

rechercher les obstacles et les stratégies adoptées pour articuler les disciplines

à partir d'entretiens, d'observations en classe, d'écrits d'élèves

analyser les
pratiques des
enseignants

choisi par les élèves. Deux situations ont été observées pour deux binômes d'enseignants. Un binôme est engagé autour d'une problématique centrée sur la recherche des effets : « *Quels sont les effets des engrais sur la croissance des plantes ?* » (sciences physiques – SVT, niveau première S), et l'autre autour d'une problématique sur la recherche des causes : « *Le tabac est-il responsable du cancer du poumon ?* » (mathématiques – SVT, niveau terminale S).

- L'analyse des productions d'élèves de terminale S (19 dossiers). Les critères retenus sont : compilation ou la structuration interdisciplinaire des connaissances.

Afin de ne pas placer les enseignants interviewés et observés qui étaient mes collègues dans un contexte qui s'apparenterait à une évaluation, les entretiens et les observations ont été menés de façon informelle, et non programmée.

2.2. Résolution de problème par les élèves

Pour analyser certains aspects de la résolution de problème, nous nous sommes appuyés sur :

- L'analyse de « fiches personnelles » d'élèves (67). Dans sa fiche, l'élève expose son « vécu » du TPE. Il décrit sa démarche (acquisition des connaissances et méthodes), indique les difficultés rencontrées et les progrès réalisés, et précise ses relations avec les autres membres du groupe (et parfois aussi avec les enseignants). Le dépouillement de ces fiches a porté sur le ressenti des élèves (satisfaction ou déception) au sujet de l'autonomie, de la recherche documentaire et de la démarche interdisciplinaire.
- L'observation de trois groupes de trois élèves niveau première S pour déterminer les motivations à l'origine du choix du sujet et du problème posé (trois sujets : « *Alimentation et obésité* », « *La pollution de l'eau* », « *L'espérance de vie* »).
- L'examen du *carnet de bord* pour suivre la démarche des élèves (dix-neuf *carnets de bord* d'élèves de terminale S ont été consultés, mais seuls deux ont été retenus car ils mentionnaient précisément la démarche des élèves). Deux groupes de trois élèves, niveau terminale S, sont concernés. Un groupe travaillant sur le sujet : « *Le cancer du poumon* » a noté les changements de problématique qui ont guidé leur progression. L'autre groupe travaillant sur le sujet : « *L'origine des couleurs des feux d'artifices* » a noté ses résultats expérimentaux et ses interprétations.
- Les réponses d'élèves de classe de première S (32), à la question : « *quel(s) est (sont) le(s) but(s) de la recherche documentaire ?* »
- La retranscription de dialogues d'élèves d'un même groupe de trois élèves en situation de recherche documentaire pour suivre le traitement de l'information en fonction de leur problématique.

Précisons que, j'ai réalisé ce recueil des données en présence de mes élèves, pendant les séances TPE.

rechercher
l'impact des TPE
sur la résolution
de problème
par les élèves

Compte tenu du faible échantillon de population sur lequel nous avons travaillé (12 enseignants, 18 élèves), et du petit nombre d'observations de classe (5 séances de TPE), la méthodologie utilisée n'a permis d'explorer que certains aspects des pratiques pédagogiques et de la résolution de problème. Les situations que nous décrivons et sur lesquelles nous appuyons nos analyses sont donc ponctuelles et nécessairement partielles.

3. DIFFÉRENTES CONCEPTIONS DES PRATIQUES PÉDAGOGIQUES EN SITUATION TPE

modalités de l'intervention pédagogique des enseignants

À partir d'observations de classe, et d'entretiens menés auprès d'enseignants, nous avons sélectionné les informations relatives à la communication entre enseignants et aux modalités de l'intervention pédagogique.

3.1. Collaboration des enseignants en TPE : entre co-animation et co-élaboration

côte à côte ?

Un rapport de l'Inspection générale de l'Éducation nationale (2) mentionnait récemment, la difficulté de la mise en œuvre de l'interdisciplinarité : « *Les TPE incitent les professeurs de disciplines différentes à travailler ensemble, cela ne signifie pas que les pratiques interdisciplinaires soient acquises... La situation la plus fréquente est encore la juxtaposition de deux disciplines plutôt que l'interdisciplinarité, l'une des deux disciplines prenant souvent le pas sur l'autre* ».

Tout en reconnaissant l'intérêt de la coopération entre disciplines, les enseignants interviewés disent ressentir une forme d'incommunicabilité :

face à face ?

« *Associer deux disciplines scientifiques est une idée pédagogique intéressante, mais qui présente une difficulté pour gérer concrètement l'interdisciplinarité, en raison de la différence de langage. Difficulté de communication entre profs sur le contenu scientifique des sujets choisis par les élèves* ».

ensemble ?

« *La plupart du temps, chacun s'en remet à son collègue pour tout ce qui n'est pas de sa matière. Il n'y a pas réellement de mise au point transversale, mais une association des connaissances des deux disciplines* ».

« *J'échange avec le collègue, mais nous ne travaillons pas vraiment ensemble* ».

(2) *Les travaux personnels encadrés*. Rapport de l'Inspection générale de l'Éducation nationale. 2001.

deux types
d'intervention :
en parallèle
ou conjointe

Parmi les douze enseignants interrogés, huit (2 en mathématiques, 2 en SVT, 4 en *sciences physiques*) disent avoir procédé séparément lors de toutes les séances de TPE, et quatre (2 en mathématiques, 1 en SVT, 1 en sciences physiques) ont ménagé des plages horaires pour être présents conjointement auprès des élèves.

Finalement, deux types d'organisation sont rencontrées : l'intervention en parallèle ou l'intervention conjointe des enseignants. Nous relatons ici deux exemples issus de l'observation de deux classes travaillant sur le même thème, *croissance*. Le premier exemple associe deux professeurs de SVT et de mathématiques, et le second deux professeurs de SVT et de *sciences physiques*.

**• Exemple 1 :
intervention en parallèle des enseignants**

Les deux professeurs travaillent séparément, chacun avec un groupe d'élèves : en mathématiques, étude des courbes de croissance ; en SVT, analyse des contrôles hormonaux, cellulaires et génétiques.

circonscrire son
domaine de
compétence

Ils échangent des informations, mais en l'absence des élèves. Celles-ci sont de nature technique (convention d'écriture, précision du vocabulaire, etc.) ou conceptuelle (mini-cours destiné au collègue sur un point précis, par exemple la différence entre *allèles* et *gènes*).

En délimitant son domaine de compétence, le professeur contourne la question du décloisonnement disciplinaire et de fait, ne modifie pas ses pratiques pédagogiques. Les échanges se résument à une juxtaposition et non à une interaction des savoirs. Ici, les deux disciplines ont été associées, tout comme on associe différents corps de métiers pour construire une maison. Les enseignants ne changent pas fondamentalement leur rapport aux disciplines. Nous sommes donc dans un mode fonctionnement pluridisciplinaire avec contribution des différentes spécialités, sans pour autant aller au décloisonnement, chacun restant dans son champ disciplinaire.

**• Exemple 2 :
intervention conjointe des enseignants**

Dans un premier temps, chacun opère dans sa discipline : en *sciences physiques*, les explications relatives aux besoins énergétiques, et en SVT celles concernant les aspects hormonaux, cellulaires et génétiques.

se confronter à un
nouveau champ
de connaissances

Puis dans un second temps, les professeurs font face, ensemble, au groupe-élèves pour répondre à leurs questions, et développer les explications. Dans ces circonstances, les collègues échangent en présence des élèves, et s'interrogent mutuellement. Ainsi, se sont-ils demandé : comment définir la croissance en prenant en compte la dimension biologique et physico-chimique ? Question en vérité restée,

sans réponse, mais qui a fait l'objet de discussions à propos de la variation de la vitesse de croissance selon l'âge, des besoins énergétiques, et surtout de la distinction entre croissance et développement.

Ici, les enseignants sortent de leur domaine strict de compétence, ce qui conduit à une interaction, laquelle rompt provisoirement avec le cloisonnement disciplinaire. En recherchant un langage commun et une approche conceptuelle commune, ils s'engagent dans une démarche interdisciplinaire.

entrer dans
l'interdisciplinarité
par la recherche
d'un langage
commun

On remarquera que, pour le même thème *croissance*, ces deux types d'organisation semblent fixer des contextes d'apprentissage différents : l'un avec maintien du cloisonnement disciplinaire, l'autre avec une ouverture à l'interdisciplinarité.

3.2. Les modalités de l'intervention didactique

Les TPE proposent la construction du savoir autour d'une problématique définie par les élèves, et non par le professeur. Habituellement, celui-ci propose le problème, et apporte les connaissances et méthodes pour le résoudre.

lorsque le
professeur ne
propose plus
ni le problème...

En situation de TPE, la nature de son intervention est donc à reconsidérer. Restent à préciser les limites de l'intervention didactique. Deux points ne font pas l'unanimité parmi les enseignants : la problématique, et les limites de l'encadrement.

• **Fonction pédagogique de la problématique**

Bien que la problématique soit énoncée par l'apprenant, sa signification (3) est l'enjeu de tensions entre enseignants. La DESCO (4) précise que « *Pour un élève de lycée qui mène un TPE, il s'agit essentiellement d'interroger simultanément les savoirs de plusieurs disciplines en posant une question ciblée, correspondant à un intérêt particulier, à laquelle le travail de recherche permettra d'apporter une réponse argumentée et vérifiée, grâce à un aller-retour entre investigations et analyses* ». Le recours aux recommandations officielles de la DESCO et du CASRL (5) ainsi que la définition du terme « problématique » comme : « *ensemble de problèmes dont les éléments sont liés* » (dictionnaire Robert) » devraient

... ni les
connaissances
ni les méthodes

-
- (3) « *Le TPE est-il défini par une question ? C'est ce que répondent les professeurs de sciences : mathématiques, sciences physiques et chimiques, sciences de la vie et de la Terre. Est-ce plutôt une problématique ? C'est ce que disent les professeurs de lettres ou de sciences sociales* » (extrait du rapport de l'Inspection générale sur les travaux personnels encadrés, juin 2001).
- (4) Brochures de la Direction de l'enseignement scolaire : « *Mise en œuvre des TPE à la rentrée 2000* », octobre 2000 et 2001.
- (5) Comité académique de suivi de la réforme des lycées, rentrées 2000 et 2001 : « *L'objectif est : "Amener les élèves à poser des questions permettant une comparaison ou donnant lieu à controverse"* ».

permettre, *a priori*, de trouver un accord. Or ce n'est pas toujours le cas.

Deux oppositions apparaissent dans les entretiens, l'une à propos de la nature du questionnement, l'autre au sujet des limites de celui-ci :

- la problématique... – une problématique axée sur le *comment* (6) est revendiquée par les trois professeurs de SVT, tandis que pour les autres collègues, on ne peut écarter le *pourquoi* (7). Cette querelle des mots est particulièrement sensible, allant jusqu'à créer parfois des crispations. En réalité, l'obstacle finaliste est ici au cœur de la polémique. En *sciences physiques* et mathématiques, la question de la causalité se résout par des lois ou des démonstrations logiques ; le *pourquoi* se substitue ainsi au *comment* sans pour autant exprimer une conception finaliste. Au contraire, en biologie, cette substitution est quasi impossible, si ce n'est au risque du finalisme (« *l'œil est fait pour voir* », « *les jambes sont faites pour marcher* », la sélection naturelle est faite « *pour éliminer les organismes inadaptés* », etc.).
- ...problème – le terme de problématique est considéré comme « *pompeux* » et « *trop général* » par quatre enseignants (deux en mathématiques, un en *sciences physiques* et un en SVT). Ils attendent, précisément, un « *problème posé par les élèves* » résolu selon une « *démarche scientifique* ». En revanche, huit enseignants (deux en SVT, deux en mathématiques et quatre en *sciences physiques*) acceptent toute formulation de la problématique : « *un ou plusieurs problèmes(s)* », ou « *une question* » pourvu qu'elle soit bien délimitée, et que les réponses apportées soient cohérentes.
- ou question ?

• Des interventions pédagogiques différentes selon le type de problématique

Mais le type de problématique semble aussi avoir un impact sur l'attitude pédagogique des enseignants. Ainsi, deux modes d'intervention de deux binômes d'enseignants ont été observés en liaison avec la problématique choisie par les élèves : « *Quels sont les effets des engrais sur la croissance des plantes ?* » (SVT- *sciences physiques*) ; « *Le tabac est-il responsable du cancer des poumons* » ? (SVT-mathématiques).

la problématique des effets...

1^{er} groupe : les effets des engrais

Les enseignants ont travaillé en parallèle avec les élèves (SVT : augmentation des rendements, notion de facteur limitant, etc. ; *sciences physiques* : chimie des engrais). Ces derniers ont répondu en deux parties, d'une part sous forme de catalogue en posant un diagnostic positif ou négatif des

(6) *Comment* au sens de : « *par quel moyen ou mécanisme expliquer le phénomène étudié* ».

(7) *Pourquoi* au sens de : « *à quelle fin, ou à quel objectif est destiné le mécanisme étudié* ».

effets des engrais, et d'autre part en décrivant la chimie des engrais sous forme d'équations.

...renforce des pratiques
« mono-disciplinaires »

Ici, *la problématique des effets* renvoie chaque professeur à son domaine de compétence, et n'impose pas d'établir un lien explicatif entre cause et effet.

2^d groupe : les causes du cancer

la problématique des causes...

Il ne s'agit pas de déterminer les effets du tabac sur les poumons, mais de « vérifier » si le tabac est cause ou non du cancer du poumon. Pour répondre à une telle question, les élèves ont construit avec l'aide des enseignants une démonstration fondée sur une démarche statistique (mathématiques) et sur la séparation de variables (SVT). Les deux professeurs ont collaboré étroitement pour relier résultats expérimentaux et analyse mathématique.

Ici, *la problématique des causes* oblige à l'interaction disciplinaire, car il ne peut y avoir d'explications séparées à la question posée (l'une mathématique, et l'autre biologique).

...favorise des pratiques
« interdisciplinaires »

Il semblerait donc que, le traitement pédagogique de la *problématique des causes* puisse être utilisé comme un levier possible pour œuvrer à une collaboration interdisciplinaire des enseignants.

• Difficulté à déterminer le degré de l'encadrement des élèves

Une question récurrente apparaît dans les entretiens : jusqu'où faut-il encadrer les élèves ? Bien qu'il soit recommandé aux professeurs de les « accompagner », aucune précision n'est donnée quant aux limites de cet accompagnement, si ce n'est de favoriser « la prise d'autonomie des élèves ». Mais alors comment concilier encadrement et autonomie ?

Les douze enseignants font remarquer qu'il faut éviter deux écueils :

comment gérer l'autonomie des élèves ?

- laisser les élèves choisir des sujets difficiles à maîtriser, au risque d'entraîner un découragement, ou une production trop superficielle ;
- pré-programmer la progression du TPE à leur place.

Pour autant, les productions réalisées sont souvent le produit d'une compilation. Parmi dix-neuf productions examinées, quinze résultaient d'un travail de compilation. Pour pallier cette « dérive » constatée à l'échelle nationale, une évaluation-bilan du CASRL (8) recommandait : « Il faudrait sans doute que les professeurs du TPE interviennent plus dans les processus d'apprentissages et les démarches en jeu dans les TPE ». Quelle est alors la marge d'intervention de l'enseignant ?

(8) Étude du CASRL réalisée à partir de 300 fiches d'évaluation de l'épreuve TPE année 2001-2002.

Parmi les douze enseignants, deux points de vue opposés se sont exprimés :

encadrer
les élèves :

- 7 (deux en mathématiques, deux en SVT, trois en *sciences physiques*) pensent que le professeur doit jouer le rôle de « personne ressource » et ne répondre qu'à la demande de l'élève. L'encadrement a alors pour objectif de vérifier la validité des informations recueillies, tout en laissant l'apprenant « redécouvrir » les acquis scientifiques.
- 5 (deux en mathématiques, un en SVT, deux en *sciences physiques*) considèrent que l'intervention de l'enseignant ne se limite pas à conseiller l'élève ou à vérifier ses acquis, mais à « travailler » avec lui.

« travailler avec » ?

Si ces deux points de vue reconnaissent le rôle décisif de l'élève dans la construction des connaissances, ils préconisent des modes d'intervention, *a priori* peu conciliables, en raison d'une divergence de conception sur l'autonomie.

Les deux citations suivantes pointent deux visions contradictoires :

« *L'objectif des TPE, c'est l'autonomie des élèves. Il faut donc intervenir le moins possible, pour qu'ils trouvent par eux-mêmes* ».

« *Les élèves ne sont pas autonomes dès le départ, c'est un apprentissage l'autonomie. Moi, je travaille avec eux les méthodes et les connaissances, d'autant qu'ils choisissent souvent des sujets hors programme* ».

ou n'intervenir
qu'à la demande ?

Dans la première citation, l'autonomie est une activité spontanée, sollicitée dès le début du TPE. L'enseignant adopte une attitude peu interventionniste semblant attribuer à la démarche TPE (sujet, problématique, recherche documentaire, traitement des données, etc.) une action auto-structurante des connaissances.

Dans ce cas, l'organisation du TPE est alors centrée sur la planification des tâches que doit accomplir l'élève (choix du thème, du sujet, de la problématique, recherches documentaires, et production). L'investigation est ici valorisée : découverte du sujet, recherche d'information, approche expérimentale, etc.

Dans la seconde citation, en revanche, l'autonomie relève d'un « *apprentissage* » car « *les élèves ne sont pas autonomes dès le départ* ». L'enseignant adopte une attitude plus interventionniste considérant la démarche TPE comme une contrainte structurante, mais pas suffisante : « *je travaille avec eux* » implique aussi bien des explications, des démonstrations, que la mise en place de situations de confrontation, de vérification, etc. Le rôle de l'enseignant est alors de provoquer des situations favorisant la structuration des connaissances chez l'apprenant.

Mais la question de l'autonomie des élèves renvoie aussi à celle de la compétence du professeur. Deux enseignants co-participants aux TPE (SVT et *sciences physiques*) nous ont

rapporté avoir échangé leur discipline pendant deux séances de TPE.

l'autonomie :
moyen ou but ?

Ainsi, le professeur de SVT a encadré les élèves sur des connaissances physico-chimiques et celui de physique sur des connaissances de SVT. Tous deux disent avoir été confrontés à des difficultés méthodologiques (recherche de la fiabilité de l'information) et conceptuelles.

Déstabilisés par leur « *incompétence* » respective, ils se sont retrouvés en « *situation d'apprentissage comme les élèves* », et n'ont pu véritablement contrôler les acquis des élèves qu'ils encadraient.

Même si cet épisode reste anecdotique, il souligne l'importance d'une communication étroite entre les professeurs pour construire des situations didactiques qui aident les élèves à franchir les limites des disciplines. Mais il rappelle aussi que cette construction repose nécessairement sur une approche interdisciplinaire maîtrisée (connaissances et démarches) pour répondre le plus justement possible à la demande des élèves, et les aider à progresser. Il exprime également l'importance d'une formation interdisciplinaire des enseignants, qui est pourtant généralement absente.

l'interdisciplinarité :
enjeu de formation
des enseignants

Essentiellement disciplinaire, la formation des enseignants n'exclut pas, cependant, la pluridisciplinarité. Les professeurs de SVT ont un bagage mathématique et physico-chimique. De même, les professeurs de *sciences physiques* maîtrisent des connaissances mathématiques, et les professeurs de mathématiques appliquent leurs savoirs à des champs disciplinaires (9) aussi variés que l'astronomie, l'épidémiologie, etc. Mais certains enseignants reproduisent les automatismes de leur propre formation, et fonctionnent sur le mode exclusif de la contiguïté des disciplines.

Les douze professeurs interviewés n'étaient pas, par principe, opposés à l'interdisciplinarité. Mais leur souci principal était de maîtriser les connaissances afin de guider le plus rigoureusement possible les élèves. Au cours des entretiens, huit d'entre eux précisent que cette exigence les a amenés à rester sur le seul terrain de la mono ou pluridisciplinarité. Les quatre autres reconnaissent que les TPE ont été une opportunité pour tenter des expériences pédagogiques fondées sur l'interdisciplinarité, initiant ainsi une réflexion sur la nécessité du décroisement des disciplines.

(9) Voir à ce sujet, la revue *Tangente* qui prend en compte aussi bien l'histoire des mathématiques, que divers champs d'action en sciences expérimentales et sciences humaines.

4. APPROCHE INTERDISCIPLINAIRE DE LA RÉOLUTION DE PROBLÈME

En classe, les activités de *résolution de problème* sont généralement proposées aux élèves par le maître comme un exercice d'application ou d'évaluation des connaissances. Le projet pédagogique des TPE vise, au contraire, à amener l'apprenant à la fois à concevoir et à résoudre le problème. Cette nouvelle donne est fortement motivante, mais aussi perturbatrice, d'autant qu'elle implique une intersection des disciplines.

apprendre autrement

Le dépouillement de soixante-sept « fiches personnelles » ciblant les points constitutifs des TPE (autonomie, investissement, construction de la problématique et interdisciplinarité) nous apprend que :

choisir un sujet

construire
le problème

rechercher
et traiter
l'information

- La grande majorité des élèves (56) exprime une réelle satisfaction vis-à-vis de l'autonomie : « *travailler autrement* », « *en toute liberté* » mais 11 « *regrettent* » le cours ou les TP : « *on travaille autrement, mais on apprend pas vraiment, on passe notre temps à chercher des infos* ».
- Tous disent s'investir dans la recherche documentaire, ainsi que dans la production finale mais beaucoup (32) mentionnent avoir des difficultés de compréhension : « *je n'ai pas tout compris* », « *on n'arrive pas à s'expliquer à nous-même le résultat des recherches* ».
- De nombreux élèves (48) élèves pointent leur embarras pour circonscrire le problème « *on ne sait pas comment limiter le problème* », « *on a dû changer plusieurs fois la problématique au cours du TPE* ».
- Pour la quasi totalité (61) des élèves, le point d'achoppement demeure la structuration des connaissances dans le cadre de l'interdisciplinarité : « *le plus difficile, c'est de réunir les deux matières pour répondre au problème* ».

Répondre au problème posé est le but final des TPE. Mais avant cette dernière étape, les TPE se structurent autour du choix du sujet, de la construction du problème, de la recherche et du traitement d'information ; chacune de ces étapes participe activement à la *résolution de problème*.

4.1. Motivation et choix du sujet

Les observations de classe montrent que le choix du sujet fait l'objet d'âpres discussions, et même de négociations entre élèves, chacun cherchant à convaincre l'autre, et faire valoir son point de vue, jusqu'à l'obtention d'un accord.

Insatisfaction et nouveaux besoins de connaissances déterminent généralement la prise de décision. La motivation apparaît donc comme un facteur intégré à la *résolution de problème* (de la Garanderie 1991, Nuttin 1980). Mais le choix du sujet peut aussi être déterminé par le rapport qu'a

l'apprenant à la nature : rapport fusionnel ou frontal. Se pense-t-il comme étant *dans*, ou *face* à la nature ?

choisir un sujet
de TPE
peut correspondre
à un positionnement
face à la nature

Examinons la motivation d'un groupe d'élèves dont le sujet portait sur l'obésité. Leur objectif était de « *connaître les règles d'une alimentation équilibrée pour éviter l'obésité* ». À partir de la « formule du poids idéal » (PI), et de la composition de repas « type » ; ils en ont déduit qu'il suffisait de s'en tenir aux « règles » alimentaires prescrites par les scientifiques pour éviter l'obésité. Malgré les conseils répétés des professeurs de SVT et de *sciences physiques* pour les orienter sur d'autres pistes (génétique, hormonale, énergétique), le groupe est resté sur sa position.

La recherche documentaire a d'abord été axée sur le recensement de ces « règles » (ne pas dépasser les apports énergétiques, respecter les proportions de protéines, lipides et glucides, etc.). Puis elle s'est orientée sur les « avantages » et « inconvénients » des différents régimes : omnivore, végétarien, et végétalien. Une fois ce travail effectué, le groupe était pleinement satisfait, et ne s'inquiétait nullement des conditions d'obtention du PI, de sa validité mathématique ou physico-chimique, ni même de la signification biologique de la ration alimentaire.

la prévention
ou le souci
de respecter
une harmonie
universelle

Le passage progressif de la prévention (« *manger ceci, et ne pas manger cela* ») à la prescription (« *vous mangerez ceci, et non cela* ») et à une règle de vie sous la tutelle de l'autorité scientifique (« *vous devez manger ceci, et non cela* ») a guidé l'essentiel du TPE. Le non respect de la formule « magique », ou du régime « miracle » ayant pour conséquence : « *ceux qui ne respectent pas ces règles sont obèses* ».

Nous avons retrouvé la même démarche à propos du tabagisme, de l'alcoolisme, des OGM, de la pollution, etc. Ces sujets sont souvent traités par les élèves pour apaiser leurs angoisses, plutôt que pour chercher à expliquer. La motivation principale est alors la recherche de lois qui régissent l'équilibre naturel, seules garantes, selon cette conception, d'une harmonie universelle, et donc d'une bonne santé (ne pas fumer, ne pas boire, ne pas polluer, ne pas cloner, ne pas faire d'OGM, etc.).

L'apprenant utilise ici les différentes disciplines pour justifier sa croyance en l'existence d'un ordre naturel normatif régi par des *lois* (mathématiques, physico-chimiques et biologiques) auxquelles il faut impérativement se soumettre (10). Il s'agit d'une attitude « contemplative », où toute action sur la Nature est jugée comme « potentiellement » nuisible à l'Homme.

(10) OGM : « *la modification du génome : ce n'est pas naturel, c'est dangereux pour l'Homme* » élève de 1^{re} S.

ne pas modifier
la Nature...

Dans cette conception fusionnelle, l'Homme et la Nature sont censés ne faire qu'un. Pour les élèves qui la partagent, l'analyse critique des données biologiques, physico-chimiques ou mathématiques est rebutante, car elle n'a pas de sens et à l'enthousiasme succède parfois la déception, voire la démotivation. Cette conception qui a été à l'origine de la motivation pour le sujet fait donc obstacle au raisonnement. L'enseignant doit alors la dépasser pour recentrer le sujet sur un objectif scientifique.

La motivation peut aussi être d'ordre pragmatique : lutter contre les maladies, les pollutions, etc. Contrairement à la conception précédente, utiliser les « lois » pour réaliser des projets scientifiques (explorer l'univers, synthétiser des molécules...) est une source de motivation, mais celle-ci n'est pas suffisante pour accéder à l'explication.

Ainsi, un sujet sur « *La pollution de l'eau* » (sciences physiques/SVT) a conduit les élèves à identifier des agents polluants. Puis laissés à eux-mêmes, ils se sont lassés de leur recherche, ne disposant pas des compétences opératoires et conceptuelles nécessaires. Une collaboration avec les enseignants (discussions autour de documents sur les arguments justificatifs du seuil de pollution) leur a permis de s'interroger sur le concept de pollution, et de ne pas s'en tenir aux seules techniques de mesure des polluants. En fin de TPE, la réflexion s'est orientée sur les actions humaines possibles, soit pour limiter la pollution de l'eau, soit pour traiter l'eau polluée.

...ou agir
pour modifier
la Nature

Un autre sujet consacré à « *L'espérance de vie* » (mathématiques/SVT) a conduit les élèves à s'interroger sur la signification de cette expression. Le décalage entre le vécu (la durée de vie), et le concept mathématique d'espérance a constitué un obstacle ; les deux étant dans un premier temps confondus. Pour les différencier, des explications détaillées du professeur de mathématiques ont été décisives (notions de statistiques). Une fois ce cap passé, la recherche a porté sur les facteurs de variation de *l'espérance de vie* (par exemple le manque d'hygiène, la malnutrition...), et des moyens de la modifier.

Dans ces deux exemples, l'apprenant prend conscience que l'Homme peut agir sur la nature : gestion des ressources, et modification de l'espérance de vie, etc. En réalité, la motivation initiale (signification de *l'espérance de vie*, lutter efficacement contre la pollution) ne se maintient que si, au cours du TPE, les élèves trouvent d'autres points d'ancrage leur permettant de résoudre leur problème (apport des statistiques, concept de pollution).

Relancer la motivation implique, semble-t-il, un va-et-vient entre l'empirique et le conceptuel afin d'aider l'élève à trouver de nouveaux motifs de s'approprier les connaissances. Si l'Homme peut agir sur la Nature, alors celle-ci devient un objet d'étude parmi d'autres. Dans ce cas, la convergence des

disciplines renforce l'idée selon laquelle les *lois* (mathématiques, physico-chimiques et biologiques) sont des contraintes à gérer et non des interdits.

La motivation des élèves pour les sujets liés à la protection de la nature répond souvent à l'inquiétude de voir les activités humaines détruire la planète. L'accident de Tchernobyl avec les risques du nucléaire, l'affaire de la « vache folle » (nourrir des végétariens avec des farines animales), l'action des CFC sur trou d'ozone, l'action des gaz à effet de serre sur les modifications du climat, etc. sont autant d'exemples qui interrogent les élèves sur la gestion (ressources et exploitations) de la planète. L'éducation à l'environnement (Sauvé, 1999) s'intéresse particulièrement aux représentations (psychologiques, sociales, etc.) qui peuvent guider certains choix de développement (durable ou non). Ainsi les questions relatives à l'environnement ne sont plus réservées aux seuls experts, mais alimentent le débat médiatique avec les partisans et les opposants au *principe de précaution*, comme c'est le cas au sujet des OGM. En choisissant ce type de sujet, les élèves veulent à leur manière participer au débat.

choisir un thème
pour participer
à un débat
de société

4.2. Construction de la problématique et représentation du problème

Si le problème posé par les élèves dépend de leur motivation pour le sujet, il dépend aussi de la représentation qu'ils s'en font. Bien des TPE débutent par des interrogations qui sont rarement des problèmes « scientifiques », mais plutôt « médiatiques » : quels sont les effets de l'alimentation sur le sexe des enfants ? Quels sont les effets du tabagisme ? Quels sont les effets des engrais sur les plantes, quels sont les effets du nombre d'or sur la structure des plantes ? etc. Il s'agit ici d'une *problématique des effets* et non des causes.

problématique
des effets
et juxtaposition
des connaissances

Pour dépasser le stade correspondant au fait de cataloguer les effets, les enseignants invitent les élèves à une activité réflexive en rupture avec le sens commun, c'est-à-dire, à construire des problèmes qui ne se posent pas spontanément : quels sont les facteurs génétiques et environnementaux responsables de l'obésité ? du cancer du poumon ? etc. En recherchant, comment « mesurer » la part génétique et la part environnementale, l'apprenant va progressivement distinguer causalité et corrélation. Ainsi, combinant l'analyse biologique et mathématique, gagne-t-il en autonomie par un travail de distanciation critique à l'égard du discours médiatique.

Par exemple, l'action du tabac sur le cancer du poumon est un sujet récurrent qui correspond à une inquiétude d'adolescents, eux-mêmes gros consommateurs. Mais ils ne s'interrogent pas, en début de TPE, sur le lien causal entre tabagisme et cancer, ni sur la notion de facteur de risque. En effet, *l'expérience première* (Bachelard 1967) avec la variété

problématique
des causes...

des signes cliniques (toux, troubles respiratoires, etc.) concentre toute leur attention, et joue comme obstacle en occultant la variation des paramètres en jeu (concentrations des substances cancérigènes, facteurs génétiques, etc.). Nous présentons ici la succession (11) des différentes interrogations d'un groupe.

Exemple 1. Évolution des interrogations autour du thème cancer du poumon et tabac

Question 1 : Quels sont les effets du tabac sur l'organisme ?

Descriptif : effets de la nicotine sur le système cardiovasculaire et sur le système nerveux, effets cancérigènes des goudrons, et de l'action hypoxique de CO.

Constat : augmentation des cancers du poumon et de la consommation de tabac.

Hypothèse : le tabac provoque le cancer du poumon.

Analyse de graphes comparatifs entre fumeurs et non-fumeurs et taux de cancer.

Question 2 : Le tabac est-il responsable du cancer des poumons ?

Question 3 : Comment le savoir ?

Utilisation des outils mathématiques

Signification conceptuelle de ces outils : cause ou corrélation (approche statistique)

...et intégration
des savoirs

À chaque remaniement de la problématique, les généralités sont abandonnées au profit du spécifique, par la création de sous-problèmes. Ces derniers traduisent à la fois un changement de représentation, et la nécessité d'associer les deux champs disciplinaires (SVT/mathématiques). La pertinence de la problématique se joue ainsi dans sa capacité à modifier la pensée commune (tabac = cancer) pour s'engager dans une heuristique des mécanismes explicatifs (prédisposition génétique, facteur de risque, etc.). La construction par rectifications successives rend compte des opérations nécessaires pour se détacher de l'immédiateté de l'observable (les effets). La recherche d'explications causales suppose donc, à un moment ou à un autre, de renoncer à la *problématique des effets*.

4.3. Recherche d'information et attitudes cognitives

la recherche
documentaire...
pourquoi ?

La recherche documentaire ou expérimentale est une activité appréciée par les élèves, mais parfois le doute s'installe quant à la démarche choisie, aux résultats obtenus et aux interprétations proposées. Pour 32 élèves interrogés sur le « but » de la recherche documentaire, nous avons obtenu quatre réponses, dans les mêmes proportions : trouver la solution au problème, trouver des explications, limiter la problématique, et apprendre de nouvelles choses. De l'observation de classe, deux comportements ont été repérés, face à la recherche d'information :

- soit la transformer en une recherche d'un corrigé au problème posé ;
- soit l'utiliser comme support à un nouveau questionnaire.

• **Quand la recherche d'information s'apparente à la recherche du corrigé**

recherche
documentaire
sans distanciation

Pour répondre à leur problématique : « *Quels sont les facteurs de la germination et comment agissent-ils sur la graine ?* », les élèves ont observé l'organisation interne d'une graine, réalisé des expériences pour tester les conditions de germination (avec ou sans lumière, avec ou sans eau, etc.), cherché à savoir si la graine était vivante (test de respiration à sec et avec eau), et enfin détecté la présence d'amylase dans les cotylédons (grains de blé coupés sur gélose + amidon + eau iodée).

Alors que le groupe était bien avancé (10^e semaine de TPE), il connaît une « crise de confiance », pensant ne pas disposer de toutes les informations nécessaires. Cette inquiétude collective trouble un des élèves qui attend de la recherche plus qu'elle ne peut lui donner, à savoir une explication définitive. Soudain, il « panique » :

Exemple 2. Un obstacle : la recherche d'une explication définitive

Crise au sein du groupe :	<i>C'est trop compliqué, on n'y arrivera jamais.</i>
Commentaire d'un élève :	<i>On a beaucoup cherché, le temps passe, on n'aura pas fini à temps. Maintenant il faut être efficace, on va se partager le travail, Anthony cherchera sur internet, Nabil sur l'encyclopédie, et moi dans les livres de SVT.</i>
Intervention de l'enseignant :	<i>Vous allez chercher quoi exactement ?</i>
Réponse de l'élève :	<i>Maintenant, je veux voir les explications.</i>

juxtaposition des
données collectées

Ici, l'élève adopte une attitude qui lui est familière : rechercher le corrigé d'un exercice quand il a l'impression de ne pas pouvoir progresser. L'objectif de la recherche documentaire n'est plus de construire une explication raisonnée à partir des données recueillies, mais de trouver, *de visu*, la solution au problème posé. La dynamique d'investigation s'essouffle, et cède progressivement la place à une démarche narrative, où l'essentiel du travail consiste à raconter le savoir savant, sous l'autorité d'une source d'informations (encyclopédies, manuels, sites internet, etc.). Ce type de TPE relève alors du « copier-coller », par juxtaposition des données collectées, où l'élève plaque un modèle explicatif formalisé, généraliste, sans lien précis avec sa problématique.

L'abandon prématuré de « l'enquête » au bénéfice d'une réponse normalisée s'apparente à ce que Piaget (1972) appelle le *refoulement cognitif*.

Trouver une réponse incontestée et incontestable – « *je veux voir les explications* » – devient la finalité du TPE. Il s'agit, ici, de se soustraire au conflit cognitif en se « réfugiant » dans des valeurs sûres : les explications toutes faites. La recherche documentaire est alors comprise comme un jeu de piste, où à partir de quelques indices, l'apprenant doit trouver au détour d'une page de manuel, d'encyclopédie, etc.

recherche
documentaire
avec distanciation

l'objet caché (la réponse), en un temps limité. En réalité, il manifeste ainsi sa résistance, voire son opposition à modifier sa conception initiale.

La compilation devient alors le meilleur rempart contre toute déstabilisation des représentations erronées, faisant cohabiter sans jamais s'affronter le discours savant, et celui de l'apprenant.

• Quand la recherche d'information suscite un nouveau questionnement

Tous les élèves ne s'enferment pas dans cette quête absolue d'explications « révélées ». La recherche d'information est aussi l'occasion d'une confrontation entre la représentation de l'apprenant et ce qu'il découvre. Ainsi un groupe d'élèves travaillant sur la cause de la peste s'est interrogé sur ses acquis :

Exemple 3. Recherche d'information et raisonnement explicatif

- *La bactérie est responsable de la peste chez l'homme, mais pas chez les oiseaux.*
- *Ça veut dire que la bactérie n'est pas pathogène pour tous les animaux.*
- *Ce n'est pas la bactérie qui donne la peste, mais la toxine qu'elle produit.*
- *Et la toxine n'est pas toxique chez tous les animaux ? c'est bizarre.*
- *Mais alors ça change tout.*
- *Tout quoi ?*
- *Ça veut dire que les oiseaux sont capables de détruire la toxine et pas l'homme.*
- *Il faut chercher du côté du système immunitaire, les conditions qui rendent la toxine pathogène.*
- *C'est quelle molécule la toxine ? elle provoque quelle réaction chimique ?*
- *Et les enzymes, ils peuvent peut-être la détruire ?*

confrontation
possible entre
représentations
et résultats
de recherche

La conception première, selon laquelle un micro-organisme est pathogène quelle que soit l'espèce, est ici remise en cause par l'intégration d'une nouvelle information (les oiseaux n'ont pas la peste). D'une représentation offensive de la bactérie, l'apprenant passe à une représentation pathogène de la toxine. Le décalage entre conception initiale et résultat de la recherche déclenche un conflit cognitif, à propos du rôle de la toxine, qui déstabilise l'apprenant (« *mais alors ça change tout* »). Cette première rectification initie un nouveau questionnement sur la chimie de la toxine et sur la fonction du système immunitaire (conception immunogène de la toxine).

Si la motivation et la représentation du problème guident la recherche, celle-ci s'inscrit :

- Soit dans un schéma de finalité (« *je veux voir les explications* ») avec une lecture en parallèle des données mathématiques, SVT, ou physico-chimiques. L'élève n'a alors qu'une vision fragmentaire, et émiettée du sujet étudié.
- Soit dans un schéma de causalité (mécanismes biochimiques à l'origine la peste) avec la construction d'un champ interdisciplinaire pour donner une unité explicative.

4.4. Traitement de l'information : réorganisation et recontextualisation des données

abandonner
un mode de pensée
mono-disciplinaire...

Extraire les données constitue un premier tri, mais cela ne suffit pas. Encore faut-il réorganiser ces données, en les combinant pour produire du sens. La construction de la réponse au problème posé résulte, d'une part d'une interaction entre les nouvelles informations issues de la recherche (documentaire et/ou expérimentale) et celles déjà stockées en mémoire par l'apprenant, et d'autre part de la transformation de ces données en un ensemble cohérent permettant de construire une réponse adaptée (Newell & Simon 1972).

Cependant les acquis dans une discipline se révèlent souvent peu opératoires hors de ce cadre disciplinaire. C'est pourquoi, malgré une problématique et des hypothèses pertinentes, l'apprenant s'accroche parfois à un mode de pensée de type mono-disciplinaire.

...et recontextualiser
les connaissances

Pour que le traitement de l'information soit significatif, l'élève doit transférer et *re-contextualiser* les connaissances des différentes disciplines en fonction de sa problématique (Raynal & Rieunier 1997, Allieu 1998). Pour atteindre cet objectif, il met en œuvre un raisonnement qui n'est pas identique à celui de l'expert et procède généralement par tâtonnement (Cauzinille, Mathieu & Weil-Barais 1985).

Sont présentés ici, des exemples d'obstacles au transfert des connaissances, mais aussi des exemples de leur dépassement tirés de l'observation de classe.

• **Prégnance d'une lecture « mono-disciplinaire » des données**

Pour répondre à la problématique suivante : « *Quels sont les mécanismes de la vision ?* » les élèves ont assimilé l'œil à une lentille convergente (le cristallin) formant des images sur une surface (la rétine). Cette description uniquement optique leur a fait dire, que l'œil « voit ». L'essentiel du TPE a alors été consacré à la description du fonctionnement « physique » de l'œil (lois de Descartes, comparaison entre l'œil normal et l'œil myope, hypermétrope, etc.). Quant à la partie biologique, la réalisation d'une maquette de l'œil a précisé, au niveau de la rétine, la présence des bâtonnets et des cônes nécessaires à la vision des couleurs.

en l'absence
de recontextualisation
des données...

L'observation concrète de la chose vue (image formée sur la rétine) a supplanté les concepts de codage et d'intégration du message nerveux (la vision), au point d'en oublier d'impliquer les nerfs optiques et le cortex visuel !

Un autre TPE sur « *L'origine des couleurs des feux d'artifices* » a été, dans un premier temps, justifié par la chimie des observations.

La cause est identifiée : la combustion ; l'effet l'est aussi : la couleur obtenue. Quant à la réponse, les élèves semblent

Exemple 4. Origine des feux d'artifice

Problématique : *Quelle est l'origine de la couleur des feux d'artifice ?*

Observations :

le carbone en poudre versé sur la flamme du bec bunsen donne du rouge

le fer en poudre donne une couleur jaune orangé

l'aluminium en poudre donne du blanc.

Réponse : *La couleur du feu d'artifice s'explique par*

$4C + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2CO$ (rouge)

$3Fe + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4$ (orange)

$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$ (blanc)

...une démarche
limitative...

considérer qu'elle est contenue dans les équations chimiques. La participation de l'enseignant par le biais d'interrogations (quel est le rôle de l'oxygène ? est-il possible d'obtenir des couleurs en l'absence de l'oxygène ? toute substance brûlée produit-elle une couleur ? qu'est-ce que la lumière ? etc.) a permis de rebondir sur les causes de l'émission de lumière, de la production d'étincelles, et de l'incandescence lors de la combustion, et ainsi de relancer la recherche sur le lien qui peut exister entre combustion et formation de lumière colorée.

Dans ces deux exemples, la juxtaposition d'éléments factuels semble se substituer à l'acquisition des concepts tandis que la réponse reste centrée sur l'application des savoirs, sans expliquer le phénomène. Le transfert des connaissances en procédant par simple glissement des savoirs, d'une discipline à l'autre peut aussi conduire à une impasse comme dans l'exemple suivant.

Exemple 5. Transport des gaz dans le sang (extrait du dialogue entre élèves)

Problématique : *Comment voyage l'O₂ dans le sang ?*

Glissement d'une discipline à l'autre

– *L'hémoglobine fixe O₂ : Hb (rouge sombre) + O₂ = HbO₂ (rouge vif)*

– *Comment l'Hb fixe l'O₂ ?*

– *Le fer de l'hème fixe l'O₂, c'est du Fe²⁺*

– *Comment écrire l'équation avec Fe³⁺/Fe²⁺ ?*

– *Y a un problème, c'est pas comme en chimie, d'habitude on écrit :*

« Fe³⁺ + e⁻ = Fe²⁺ (Fe³⁺ : oxydant, et Fe²⁺ : réducteur),

et Cu⁺ = Cu²⁺ + e⁻ (Cu⁺ : réducteur, et Cu²⁺ : oxydant)

Bilan : Cu⁺ + Fe³⁺ = Fe²⁺ + Cu²⁺ »

– *Qu'est-ce qu'on fait de l'O₂ ?*

– *C'est peut-être comme la rouille, le fer change de couleur, et le sang aussi.*

– *On peut écrire un truc du genre : Fe²⁺ + O₂ + 4H⁺ = Fe³⁺ + 2H₂O, en milieu acide.*

Une relation causale est établie entre la présence de O₂ et le changement de couleur du sang (oxydation du fer : analogie avec la rouille). Mais au moment d'écrire les équations, les élèves hésitent longuement : comment introduire Fe²⁺ et Fe³⁺? En réalité, l'appropriation des connaissances ne se

...où l'apprenant transfère les connaissances d'une discipline à une autre

fera qu'au prix d'une nouvelle approche qui n'est pas celle de l'oxydoréduction avec le couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ déjà connu. Ici, les enseignants ont fourni aux élèves des documents de travail (illustrations sur la structure chimique de l'hème en SVT, et descriptif des relations chimiques entre hémoglobine, oxyhémoglobine en sciences physiques). La confrontation entre les acquis en chimie (gain, perte d'électrons et oxydant, réducteur) et ceux du TPE (gain, perte de O_2 et oxydant, réducteur) a suscité une *re-contextualisation* biochimique des données.

Le transfert *homothétique* des connaissances d'une discipline à l'autre est symptomatique d'une lecture strictement mono-disciplinaire. Il empêche provisoirement l'apprenant de *recontextualiser* les connaissances acquises. L'encadrement des enseignants par la mise en place de situations pédagogiques (discussions, interrogations, suggestions, etc.) peut aider l'apprenant à rechercher un lien explicatif par interaction des champs disciplinaires.

**• Médiation interdisciplinaire :
entre rectification et modélisation des acquis**

la recontextualisation des données...

La juxtaposition des connaissances déclaratives et procédurales, hors contexte, est source d'erreurs. Pour être en mesure de les rectifier, il faut déjà avoir pu les identifier. Ainsi, une discussion engagée autour de l'interprétation de la courbe de dissociation de l'Hb- O_2 est un bon exemple d'une argumentation initialement erronée, en voie de rectification.

Exemple 6.

- C'est quoi la pression partielle d' O_2 ?
- La définition c'est : « la pression partielle d'un gaz dans un mélange gazeux est proportionnelle au pourcentage de gaz dans le mélange : ex la pression atmosphérique étant de 760 mm de Hg et la teneur en O_2 de 21 %, la $pp\text{O}_2$ dans l'air est de $760 \times 21 \% = 160 \text{ mmHg}$ ».
- Oui, mais ça c'est valable pour le poumon, dans le sang ça change.
- J'ai noté qu'il y a 200 ml d' O_2 pour un 1 l de sang, quand le sang est saturé en O_2
- Donc quand le sang est saturé à 80 % ça représente 160 ml O_2 pour 1 l de sang, etc.
 $pp\text{O}_2 = 760 \times 80 \% = 608 \text{ mmHg}$; c'est pas possible, y a un problème avec le graphe.

...une démarche interactive

Au début, les élèves effectuent un calcul sans s'interroger sur sa signification, puis confondent le pourcentage de saturation de l'Hb en O_2 avec la proportion de O_2 .

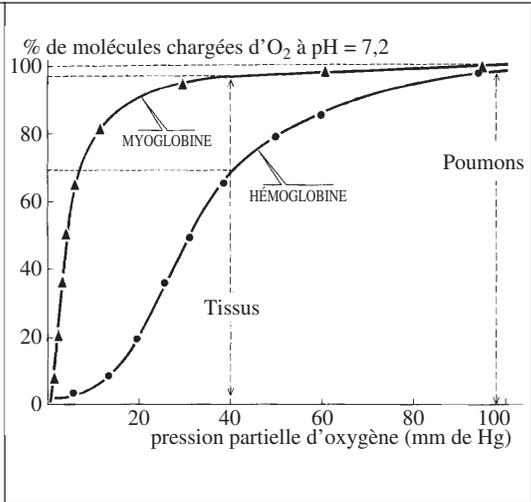
Enfin, ils renoncent au calcul de la proportion O_2 , et font une relecture du graphe comme un relevé de mesures évident :

L'élève raisonne ici à partir :

- de compétences méthodologiques, liées à la représentation graphique.
- de connaissances conceptuelles : pression partielle (p.p.) et conditions de fixation ou de dissociation Hb- O_2 .

Exemple 7.

- Ça n'a rien à voir, il faut lire le graphe autrement. La ppO_2 , elle est donnée, on n'a pas à la calculer. Nous, à partir du graphe, on peut dire combien y a d' O_2 dans le sang. Pour une ppO_2 de 40 mmHg, on lit sur le graphe 80 % de saturation, donc la quantité de O_2 dans le sang est de 160 ml ($200 \times 80 / 100$), et pour une ppO_2 à 160 jusqu'à 100 mmHg, on a toujours 200 ml d' O_2 ?
- Ça veut dire que si 200 ml d' O_2 est égal à 160 mmHg de ppO_2 , une ppO_2 égale à 80 mmHg ne correspond pas à 100 ml d' O_2 ? c'est donc pas proportionnel.
- Mais c'est quoi exactement cette ppO_2 ?
- C'est la concentration de O_2 dans le sang ?
- Non, c'est $PV = nRT$, d'après la formule des gaz parfaits.



Une simple description de la courbe (« pour une p.p. d' O_2 de x, on constate un % de saturation de y ») n'aurait pas soulevé tant d'interrogations et d'hésitations et les enseignants auraient pu penser que la lecture du graphe ne posait aucun problème.

En revanche, dès que l'erreur est clairement énoncée (confusion entre p.p. d' O_2 et pourcentage de saturation de Hb ; ou p.p. et concentration), un travail réflexif est possible.

En effet, l'erreur révèle la nécessité de faire appel à de nouveaux concepts (ex. : la pression partielle) et méthodes (ex. : lecture de graphe) pour avancer dans la compréhension du phénomène étudié. Ici la « rectification » comme étape de construction des savoirs, procède d'un travail d'articulation entre disciplines par *recontextualisation* des données, en vue d'établir un lien explicatif, par exemple pour dégager le rôle de la pression partielle dans le transport du O_2 .

Une fois la « rectification » établie, la structuration définitive des connaissances se fera autour de l'explication. Pour dépasser le stade figuratif de la description des acquis, et accéder à un niveau opératoire et conceptuel, l'élève peut alors s'engager dans une démarche heuristique de modélisation.

Reprenons, l'exemple de la courbe de dissociation de l'Hb- O_2 . Les élèves identifient les paramètres en jeu : pourcentage de saturation de Hb, p.p. O_2 , fixation-libération du O_2 . Ils séparent ces variables avant de les relier : p.p. O_2 conditionne le pourcentage de saturation de Hb, lequel détermine la fixation ou la libération du O_2 . Reste maintenant, à expliquer la signification physiologique de ce graphe. La comparaison avec la courbe de dissociation de la myoglobine est un premier point de départ.

décrire
n'est pas expliquer

Exemple 8.

- Myoglobine : un hème et une chaîne de 153 acides aminés, Hb : 4 chaînes d'acides aminés et 4 hèmes qui peuvent fixer le O_2 donc l'Hb, c'est comme 4 myoglobines.
- La myoglobine, elle peut fixer qu'un seul O_2 puisqu'elle n'a qu'un hème, donc elle est très vite saturée, tandis que l'Hb, elle peut en fixer 4, et là y a saturation. Avec un hème, la courbe est différente par rapport à 4. Pour la myoglobine, ça monte vite et puis après ça stagne ; tandis que pour Hb c'est progressif, ça forme une sorte S.
- Oui avec l'Hb, on n'a pas 4 fois la courbe de la myoglobine, c'est différent.
- La fixation de O_2 est progressive, c'est ça qui change tout ; les 4 O_2 ne se fixent pas d'un coup.
- C'est donc l'Hb qui fait que les 4 O_2 ne se fixent pas tous, mais par étape ; pour fixer les 4, il faut peut-être en fixer 1 d'abord, puis 2, puis 3, puis 4, c'est progressif.
- Ça veut peut-être dire que la molécule Hb se transforme, quand elle a fixé le premier O_2 , elle devient différente, alors le deuxième O_2 peut se fixer, et ainsi de suite.
- Mais à quoi ça sert de fixer un, puis deux ... O_2 ?
- D'après le graphe, c'est lié à p.p. O_2 dans le sang, ça doit permettre d'apporter plus de O_2 aux organes quand ils en manquent.

L'allure hyperbolique de la courbe de myoglobine (présence un seul hème), et celle sigmoïde de Hb (quatre hèmes) constituent le premier niveau explicatif. Mais, les élèves envisagent aussi une transformation de Hb suite à la fixation progressive de O_2 . Ils vont encore plus loin, quand ils relient la forme des courbes à la structure de la myoglobine et à celle de Hb. Bien que partiel, leur modèle « allostérique » explicite de façon informelle (et à tire d'hypothèse), la fixation et la libération de O_2 en relation avec les besoins des organes.

par la
recontextualisation
des données...

Les modèles liés aux représentations des élèves ou les simulations visant à reproduire un phénomène contribuent à la construction des connaissances par l'apprenant, mais ils ne peuvent être véritablement qualifiés d'activités de modélisation. La modélisation permet à l'élève de se détacher de l'expérience immédiate, de hiérarchiser ses connaissances, et de planifier sa démarche en vue de rendre fonctionnel et prévisionnel son modèle (Giordan & Martinand 1987). Ici, la structuration des connaissances à partir du champ de référence empirique (protocole, mesures, résultats expérimentaux, etc.) constitue la base de la modélisation par *recontextualisation* des données, et s'appuie sur de nouvelles articulations disciplinaires : d'un côté le concept chimique de *structure* et de l'autre celui, biologique, de *fonction*.

...modéliser pour
comprendre

Ces différents exemples montrent qu'un problème scientifique ne naît pas immédiatement de la seule motivation. Il se construit tout au long du TPE par confrontation entre la représentation initiale et l'acquisition de méthodes et de connaissances. En effet, l'agencement méthodique des données ne produit pas *ipso facto* une structuration des savoirs, pas plus que l'organisation des connaissances ne s'effectue par assimilation progressive des savoirs et savoir-faire.

Les obstacles rencontrés lors de la résolution de problème (représentation fusionnelle, représentation du problème, enfermement dans une logique mono-disciplinaire, etc.) pour

être dépassés doivent être relayés, semble-t-il, par des activités de structuration (rectification, réorganisation des acquis par *recontextualisation*, par modélisation) et par des activités *transférégènes* proposées par les enseignants.

5. CONCLUSION

Les résultats limités exposés dans cet article, si tant est qu'ils puissent être généralisés, soulignent quelques obstacles mais aussi des performances des enseignants et des élèves confrontés à la nouveauté des TPE. Cinq aspects essentiels ont pu être mis en évidence :

des pratiques
pédagogiques
et des stratégies
de résolution
de problème

- la difficulté du passage de la mono à la pluri et à l'interdisciplinarité ;
- les variations dans les modalités d'intervention des enseignants, entre « attentisme » et « interventionnisme » ;
- l'intérêt du passage d'une *problématique des effets* à une *problématique des causes* ;
- les liens entre les représentations fusionnelle ou séparatiste et le choix de la problématique ;
- la nécessité de *re-contextualiser* les données pour structurer les connaissances.

Il apparaît que la formulation d'une *problématique des causes* facilite la mise en œuvre de l'interdisciplinarité, par un traitement *recontextualisé* des données, lequel conduit à des phases de rectification, de transfert et de structuration des connaissances. Tandis qu'une *problématique des effets* favorise la pluridisciplinarité, et un traitement de l'information par juxtaposition des connaissances pouvant aboutir à une compilation des données.

une situation
de recherche
qui peut favoriser
la structuration

Cependant l'interdisciplinarité ne se décrète pas. Elle ne s'impose que dans la mesure où elle est incontournable pour la résolution de problème. Et c'est en ce sens, qu'elle exerce un « effet causal » sur la structuration des connaissances. Si autonomie et investigation concourent à placer l'élève en situation de recherche, cette dernière ne doit pas être confondue avec une forme de redécouverte des acquis scientifiques (Brunold 1948, Gohau 1987). L'intérêt des TPE est de donner place à un apprentissage par *investigation-structuration* (Astolfi 1984) où l'élève explore, construit et reconstruit le réel par interaction avec l'environnement. Il faut pour cela que les enseignants repèrent les obstacles et élaborent, séparément et conjointement, des situations pédagogiques qui puissent aider l'apprenant à les dépasser.

Corinne FORTIN
Lycée Jean Moulin, Torcy
Équipe INRP, *sciences de la vie et de la Terre*,
Lycée

BIBLIOGRAPHIE

- ALLIEU, N. (1998). Transfert et interdisciplinarité. *Cahiers pédagogiques*.
- ASTOLFI, J.-P. *et al.* (1984). *Expérimenter sur les chemins de l'explication scientifique*. Toulouse : Privat.
- ASTOLFI, J.-P. & DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- BACHELARD, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BACONNET, M., BOTTIN, J., & FORT, M. (2001). *Les travaux personnels encadrés*. Rapport de l'IGEN. Inspection générale de l'Éducation nationale. MEN.
- BLANCHARD-LAVILLE, C. (2000). De la co-disciplinarité en sciences de l'éducation. *Revue française de pédagogie*, 132.
- BOULIGAND, Y. (1980). *La morphogenèse : de la biologie aux mathématiques*. Paris : Maloine.
- BRUNOLD, C. (1948). *Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences*. Paris : Masson.
- CAUZINILLE, E., MATHIEU, J., & WEIL-BARAIS, A. (1985). *Les savants en herbe*. Berne : Peter Lang.
- CHARTIER, A.-M. (1999). Le dispositif entre usage et concept. *Hermès*, 25.
- DELATTRE, P. (1971). *Système, structure, fonction, évolution*. Paris : Maloine.
- DIEL, P. (1969, 3^e édition 1991). *Psychologie de la motivation*. Paris : Payot.
- FOUREZ G. *et al.* (2002). *Approches didactiques de l'interdisciplinarité*. Bruxelles : De Boeck.
- GIORDAN, A. & MARTINAND, J.-L. (1987). Modèles et simulations. *Actes des IX^e Journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles*. Paris : DIRES.
- de la GARANDERIE, A. (1991). *La motivation : son éveil, son développement*. Paris : Centurion.
- GOFFARD, M. & DUMAS-CARRÉ, A. (1998). Résolution de problèmes de physiques et interactions professeur-élèves. In A. Dumas-Carré & A. Weil-Barais (Éds.). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Bern : Peter Lang.
- GOHAU, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster*, 5.
- LEGRAND L. (1978). *L'interdisciplinarité en pédagogie : essai de clarification – Vers l'interdisciplinarité*. Paris : INRP.
- LENOIR, Y. *et al.* (2001). *Les fondements de l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement*. Sherbrooke : CRP.

- LENOIR, Y. & SAUVÉ, L. (1998). De l'interdisciplinarité scolaire à l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement. *Revue française de pédagogie*, 125.
- MAGER, R.-F. (1977). *Comment définir des objectifs pédagogiques*. Paris : Bordas.
- MORIN, E. (1999). *Relier les connaissances : le défi du xx^e siècle*. Paris : Seuil.
- MORIN, E. (1990). Carrefour des sciences. *Actes du colloque du Comité national de la Recherche scientifique interdisciplinaire*. Paris : CNRS.
- MOUGNIOTE, A. (1993). *La pratique personnelle de l'enfant*. Lyon : Presses universitaires de Lyon.
- NEWELL, A. & SIMON, H.-A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs. New Jersey : Prentice-Hall.
- NUTTIN, J. (1980). *Théorie de la motivation humaine*. Paris : Presses universitaires de France.
- PIAGET, J. (1972). Inconscient affectif et inconscient cognitif. In *Problèmes de psychologie génétique*. Paris : Denoël.
- RAYNAL, F. & RIEUNIER, A. (1997). Transfert des connaissances. In *Pédagogie : dictionnaire des concepts clés : apprentissage, formation et psychologie cognitive*. Paris : ESF.
- RUMELHARD, G. & DESBEAUX-SALVIAT, B. (2000). Rencontres entre les disciplines. *Aster*, 30.
- SAUVÉ L. (1999). Éducation, environnement et développement : une approche critique. *Bulletin de l'Association des biologistes du Québec*.
- THOM R. (1984). *Ordre et Désordre*. Neuchâtel : Éditions de La Baconnière.
- THOM, R. (1990). *Apologie du logos*. Paris : Hachette.