HAL
open science

Concevoir des protocoles expérimentaux en sciences de la vie et de la Terre. Deux expérimentations en classe de terminale.

Eric Sanchez, Réjane Monod-Ansaldi, Daniel Devallois, Patricia Marzin-Janvier

To cite this version:

Eric Sanchez, Réjane Monod-Ansaldi, Daniel Devallois, Patricia Marzin-Janvier. Concevoir des protocoles expérimentaux en sciences de la vie et de la Terre. Deux expérimentations en classe de terminale.. Biologie-Géologie, 2010, 1-2010, pp.135-147. hal-00593072

HAL Id: hal-00593072

https://hal.science/hal-00593072

Submitted on 13 May 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Concevoir des protocoles expérimentaux en sciences de la vie et de la Terre

Deux expérimentations en classe de terminale

Eric Sanchez, Réjane Monod-Ansaldi, Daniel Devallois, Patricia Marzin

En France, la question de la conduite d'un travail d'investigation en classe a été introduite par le texte officiel qui définit le plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école(1) *(PRESTE). Ce texte décrit la démarche à employer à l'école comme « fondée sur le questionnement et sur l'investigation, constitutifs des disciplines scientifiques ». Depuis, divers textes officiels ou rapports ont repris ces termes (Rocard et* al.*, 2007). Il s'agit en particulier des programmes de sciences pour le collège et du socle commun des connaissances*(2)*. Ce dernier texte indique que l'un des aspects de cette démarche concerne « la formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles » et, plus loin, « l'élaboration éventuelle d'expériences, destinées à tester ces conjectures ». Par ailleurs, la capacité de concevoir un protocole est une compétence qui est évaluée dans quelques sujets destinés à l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales pour le baccalauréat.*

Dans le cadre d'une démarche d'investigation, la conception de protocoles nous semble une étape clef pour l'apprentissage. Cependant, peu de travaux de recherche sur l'enseignement des sciences se sont intéressés à la conception de protocoles expérimentaux dans un contexte scolaire. On peut néanmoins relever des études qui soulignent l'importance de cette tâche pour l'apprentissage ou qui relèvent les difficultés qu'ont les élèves à la mettre en ?uvre (voir par exemple Séré & Beney, 1997) .

Une étude concernant l'enseignement du cycle du carbone et des changements climatiques en classe de seconde (Sanchez, Prieur, & Fontanieu, 2007) montre un écart important entre le nombre d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre qui déclarent qu'il est pertinent de demander à des élèves de concevoir un protocole expérimental (74 % n=341) et le nombre d'enseignants qui le réalisent en classe (29 % n=341). Cet écart traduit les difficultés qu'ont ces enseignants à organiser de telles activités.

■ **Eric Sanchez** : INRP-EducTice, LEPS-Université de Lyon ;
Réjane Monod-Ansaldi : INRP-EducTice
Daniel Devallois : INRP-EducTice
Patricia Marzin : **LIG-UJF Grenoble**

(1) BO n°23 du 15 juin 2000
(2) BO hors série du 19 avril 2007

Un projet de recherche (CoPEx Construire des Protocoles Expérimentaux en sciences) soutenu par le Ministère de l'Éducation Nationale, a donc été conduit en partenariat avec des chercheurs du laboratoire d'informatique de Grenoble, de l'INRP et d'enseignants de lycée afin d'étudier l'étape de conception de protocole pour l'enseignement des sciences expérimentales.
Cet article est destiné à montrer comment on peut amener des élèves à construire des protocoles en sciences de la vie et de la Terre, de manière autonome, dans des conditions qui soient réalistes. Il s'agit de proposer des outils à l'enseignant qui souhaite organiser de telles activités dans ses classes. Pour ce faire, nous préciserons ce que nous entendons par conception de protocole, nous présenterons les séances que nous avons expérimentées et les enseignements que ces expérimentations apportent en termes de pistes pour engager des élèves dans un travail d'investigation comprenant une phase de conception de protocole.

Qu'est qu'un protocole expérimental ?

Une étude préliminaire nous a permis de préciser ce que nous entendions par construction de protocole (Marzin, Girault, Wajeman, d'Ham, & Sanchez, 2007). Nous définissons un protocole expérimental comme une liste de tâches expérimentales organisées de façon temporelle et/ou logique, dont l'objectif est de déterminer des valeurs spécifiques en relation avec les hypothèses scientifiques qui sous-tendent l'expérience. Chaque tâche est caractérisée par une intention explicite, par une procédure et par un ensemble de paramètres dont les valeurs doivent être fixées. Le terme de protocole expérimental fait donc à la fois référence aux actions à réaliser dans un certain ordre (l'expérimentation elle même) et aux textes et schémas construits pour décrire et communiquer cette expérimentation. Par extension, un protocole expérimental peut, lorsque l'expérimentation n'est pas envisageable, se traduire par un protocole d'observation qui décrit les procédures à mettre en ?uvre pour recueillir les données permettant d'éprouver les hypothèses formulées.

La conception du protocole expérimental apparaît donc comme une étape au cours de laquelle des assertions théoriques, qui prennent la forme d'hypothèses explicatives, sont traduites en procédures permettant de produire des observables, de laboratoire ou de terrain, qui permettront de les éprouver. D'un point de vue épistémologique, l'étape de conception de protocole correspond ainsi à la mise en relation d'un modèle scientifique et du réel qu'il vise à décrire.

Les difficultés rencontrées par les enseignants pour mettre en œuvre ce type d'activité en classe, relèvent, selon nous, de différents registres. En premier lieu, les contraintes qui pèsent sur l'enseignant et ses élèves en termes de connaissances mobilisables, de temps disponible ou d'objectifs ne sont pas identiques à celles qui entourent le travail du chercheur. Il est donc nécessaire de préciser les conditions permettant de transposer l'activité de conception de protocole, telle qu'elle s'exprime dans la recherche, pour l'enseignement secondaire. En second lieu, une difficul-

té concerne le statut du modèle scientifique dans la classe. Le plus souvent, ce modèle est implicite, reconstruit au cours des activités qui sont conduites, déduit des observations effectuées ou des résultats expérimentaux obtenus. Le statut implicite de ce modèle rend alors difficile aux élèves l'élaboration des procédures qui permettraient de le tester. Enfin, il faut probablement incriminer aussi un manque de connaissances sur ce qu'est un protocole expérimental et sur les critères qui permettent de l'évaluer.

Sur ce dernier point, notre travail a consisté dans l'établissement de cette liste de critères. Un protocole doit être **pertinent** c'est-à-dire que l'expérimentation qu'il propose doit permettre de répondre à la question posée. La pertinence d'un protocole s'évalue donc par rapport au modèle scientifique en jeu. Un protocole doit être **reproductible**, c'est-à-dire permettre d'obtenir des résultats identiques lorsqu'il est utilisé dans les mêmes conditions. Un protocole doit enfin être **exécutable** et **communicable** ce qui implique qu'il soit rédigé avec un niveau de précision permettant de le réaliser sans information complémentaire et son niveau de formulation doit être adapté à son destinataire.

Le paragraphe suivant permet de décrire les deux séances expérimentales que nous avons conçues et d'indiquer la manière dont les points que nous avons évoqués ont été pris en compte dans cette conception.

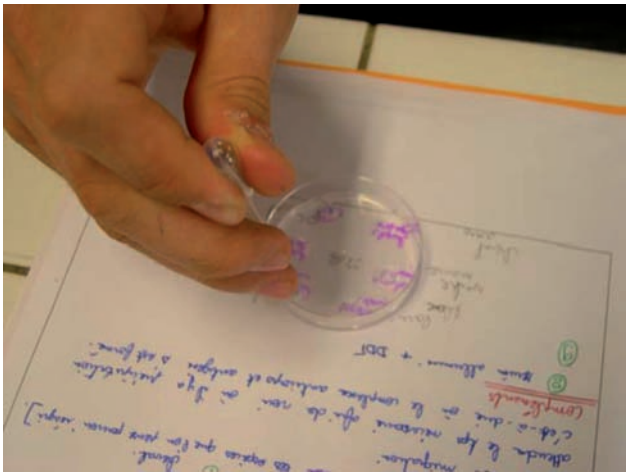
Deux études de cas, description des séances : objectifs pédagogiques, activités élèves, aides apportées

Nous décrivons ici les séances expérimentées dans deux classes de terminale scientifique lors de deux années successives, en 2006 et 2007. Les activités que nous présentons sont les dernières moutures qui tiennent compte des réajustements en fonction des résultats des travaux de recherche que nous avons conduits. Par souci de concision nous n'indiquons que les éléments qui nous semblent indispensables pour que le lecteur comprenne le travail qui a été conduit. Les fiches-élèves sont indiquées en annexe. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site du projet.

En sciences de la vie, une séance d'immunologie, la formation d'un complexe immun

Le modèle de liaison de l'anticorps avec l'antigène qui a été choisi l'a été pour plusieurs raisons : c'est un point important du programme d'immunologie de Terminale S. Il utilise les connaissances concernant la structure spatiale des protéines, notion qui a été abordée en première S et revue en terminale S lors de l'étude des conséquences des mutations dans le chapitre de génétique. Nous considérons que les élèves possèdent des connaissances suffisantes pour imaginer un protocole permettant de mettre en évidence son importance dans la liaison antigène-anticorps (liaison Ag-Ac) : par exemple, ils ont travaillé en première S sur des facteurs phy-

siques ou chimiques qui perturbent la structure spatiale des enzymes et leur activité. Le travail effectué dans ce TP pourra donc permettre aux élèves de remettre en jeu leurs connaissances concernant la structure et l'activité des protéines, notions essentielles du programme de biologie au Lycée.



1. Début de la manipulation à partir d'un protocole rédigé

Lors de la séance d'immunologie, la structure des anticorps et le fonctionnement de leur liaison à l'antigène sont connus. Les élèves ont déjà observé des résultats d'immunodiffusion par la méthode d'Ouchterlony, et ont étudié la structure tridimensionnelle des anticorps à l'aide du logiciel Rastop durant la séance précédente.

La tâche proposée aux élèves est la conception et la réalisation d'un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'importance de la complémentarité spatiale pour la liaison Ag-Ac. Pour résoudre ce problème, ils doivent soumettre les anticorps et/ou les antigènes à des conditions permettant de modifier leur conformation spatiale, puis les mettre en contact pour en observer les conséquences sur leur liaison. Le choix des conditions de perturbation de la structure spatiale, et l'organisation de la rencontre entre les antigènes et les anticorps modifiés ou non sont les éléments déterminants de la séance. La consigne donnée est la suivante : *« Vous allez, au cours de cette séance, tenter de montrer que la liaison Antigène-Anticorps (Ag-Ac) dépend de la complémentarité spatiale de ces deux molécules ».*

Pour effectuer cette tâche, les élèves disposent de plusieurs documents qui présentent l'objectif de la séance (la conception d'un protocole), le modèle scientifique en jeu (la liaison dépendante de la complémentarité spatiale elle-même liée à la présence de liaisons hydrogènes et/ou de ponts disulfures), le problème à résoudre (la mise en évidence de l'importance de la complémentarité spatiale), une fiche sur les molécules disponibles (anticorps, molécules antigènes et agents agissant sur les protéines utiles ou inutiles que les élèves devront sélectionner) et une fiche technique sur la méthode d'immunodiffusion d'Ouchterlony (technique de mis en évidence de la formation de complexes immuns). Pour rédiger leur protocole, les élèves doivent

écrire un texte et compléter le schéma des boites de réaction.

La conception se fait en plusieurs phases.

– La première étape est une réflexion par groupe de trois élèves, sur le principe même de l'expérimentation à réaliser. Durant cette étape, les fiches techniques (molécules disponibles et méthode d'Ouchterlony) ne sont pas à disposition des élèves.

– Les idées trouvées par les différents groupes sont mises en commun dans la classe, puis débute une phase par groupes de trois élèves de conception et schématisation d'un protocole avec choix des molécules et des agents à utiliser ainsi que de leur positionnement sur les boites. La schématisation des résultats attendus est demandée. Ces schémas sont échangés entre deux groupes, et les élèves d'un groupe « interprètent » les résultats attendus par l'autre.

– Puis les deux groupes collaborent pour la finalisation et la réalisation d'un protocole commun. Cette phase d'échange a souvent débouché sur des modifications importantes des protocoles produits.

En sciences de la Terre, une séance de paléontologie, la mesure de l'angle facial

L'observation d'élèves de terminale S réalisant un protocole donné de mesure de l'angle facial lors de l'épreuve d'évaluation des capacités expérimentales au baccalauréat, nous avait fait prendre conscience que ceux-ci ne regardaient pas bien les crânes et avaient du mal à suivre réellement le protocole proposé. Nous espérions que concevoir un protocole de mesure de l'angle facial permettrait aux élèves de mieux comprendre la notion d'angle facial et d'observer plus finement les différents crânes présentés. D'autre part, le fait que la mesure puisse être réalisée rapidement, et que le matériel puisse être facilement manipulé permettait d'envisager une séance de conception où les protocoles pourraient être facilement testés par les élèves en autonomie.

L'évolution du crâne dans la lignée humaine a préalablement été observée par les élèves. La notion de prognathisme est définie et les élèves ont remarqué la régression de la mâchoire au cours de l'évolution de la lignée humaine.

La tâche proposée aux élèves est la mesure de l'angle facial de plusieurs crânes d'homininés. Pour résoudre ce problème ils doivent choisir 4 points caractéristiques sur le crâne et projeter ces points sur un plan afin d'obtenir deux droites à partir desquelles ils pourront mesurer un angle indicateur du prognathisme. La consigne donnée est la suivante : « *Vous allez, au cours de cette séance élaborer un protocole de mesure d'angle facial pour évaluer le prognathisme et effectuer une mesure d'angle facial. Cette mesure d'angle facial est utilisée par les paléontologues pour identifier un crâne.* »

Le modèle scientifique postule que plus le prognathisme est faible, plus l'angle est grand, plus l'espèce d'homininé à laquelle appartient le crâne est apparue récemment.

2. Projection des points sélectionnés pour mesurer un angle facial

Pour effectuer cette tâche, les élèves disposent de plusieurs documents qui présentent l'objectif de la séance (la conception d'un protocole), le modèle scientifique en jeu (l'évolution du prognathisme dans la lignée humaine), le problème à résoudre (l'évaluation du prognathisme), des définitions (l'angle facial) et l'explication de la méthode de mesure (projection des points sur un plan). Une fiche de vocabulaire concernant les os du crâne a aussi été fournie. Pour rédiger leur protocole, les élèves peuvent rédiger un texte, compléter le schéma d'un crâne et le légender, ou réaliser un schéma libre.

De nouveau, la conception se fait en plusieurs phases. Dans un premier temps les élèves travaillent par groupes de trois sur 2 crânes différents. Le protocole est ensuite échangé avec celui d'un autre groupe, à charge pour chacun de tester et critiquer le protocole de l'autre. Enfin, un protocole commun aux deux groupes est rédigé. Encore une fois, les phases de travail collaboratif ont permis des échanges intéressants entre élèves et ont conduit à l'amélioration de la pertinence, la reproductibilité et la communicabilité des protocoles produits.

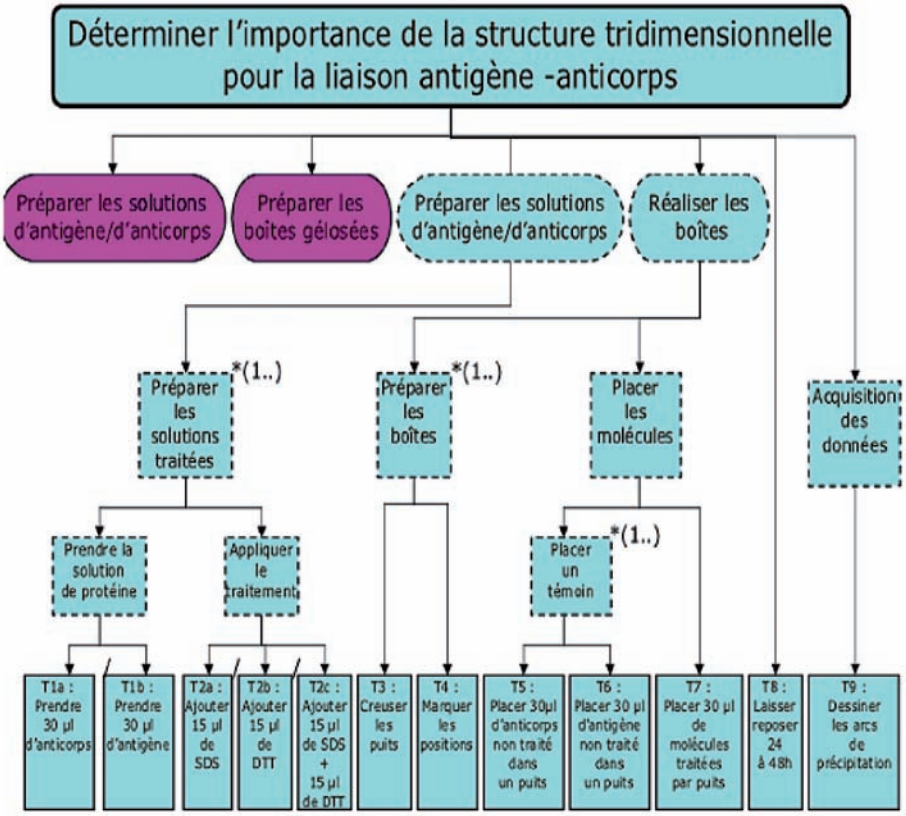
Conception des séances et guide méthodologique pour la conception de protocole

Nous présentons ici les éléments qui ont présidé à la conception des séances ou qui ressortent de l'analyse que nous avons pu faire du travail réalisé par les élèves. Les différents points que nous évoquons constituent autant de repères que nous considérons comme transposables pour élaborer une séance comprenant de la conception de protocole pour d'autres thèmes de sciences de la vie et de la Terre que ceux que nous avons retenus pour nos expérimentations.

Dans la suite, nous nommerons « protocole expert », le protocole décrivant la séquence de toutes les actions à réaliser pour résoudre le problème. Il doit être écrit et testé avant de préparer la séance de conception. On peut remarquer que souvent plusieurs protocoles permettent de répondre à une question posée. Le « protocole expert » est celui de l'enseignant qui prépare la séance, il n'est pas obligatoirement celui qui sera obtenu par les élèves, qui peuvent en construire d'autres tout aussi satisfaisants.

Distinguer les concepts qui relèvent de la discipline de ceux qui concernent d'autres disciplines ou de techniques de mesures

La conception de protocole est une tâche complexe et difficile pour les élèves : elle fait appel à des connaissances scientifiques (le modèle scientifique qui est travaillé) et techniques qu'ils ne possèdent pas toujours suffisamment. La gestion du temps de la séance et le choix des tâches à réaliser par les élèves et des aides à leur apporter est capitale pour permettre que les protocoles soient conçus et réalisés dans la durée impartie. Pour faciliter ce choix, nous avons formalisé le « protocole expert » sous la forme d'un arbre des tâches (fig.3).



3. Arbre des taches du « protocole expert » de la séance d'immunologie

Le protocole laissé à la charge des élèves (celui où ils devaient faire des choix) correspondait à une partie sélectionnée de ce protocole expert, en l'occurrence une partie conduisant à travailler sur le modèle en jeu.

Lors de la conception de la séance consacrée à la construction d'un protocole permettant de mesurer l'angle facial il nous est apparu rapidement que la conception de la méthode de projection sur un plan, à l'aide d'un pointeur laser, ne devait pas être à la charge des élèves. En premier lieu, il est difficile d'envisager que les élèves conçoivent dans un temps raisonnable et compatible avec le programme de terminale une méthode de projection et en maîtrisent les différents paramètres. Les observations des difficultés rencontrées par les élèves pour respecter la perpendicularité du pointeur laser et de la face de l'aquarium sont venues confirmer ces prévisions. En second lieu, les concepts liés à cette méthode de projection nous semblent relever de l'enseignement de mathématique plutôt que de celui de sciences de la vie et de la Terre. Enfin, il nous a paru important de distinguer la méthode de mesure – la projection de points sur un plan – des concepts relevant de la discipline - tels que le prognathisme - et de centrer l'activité des élèves sur la manipulation de ces concepts. Au final, nous avons donné la méthode de mesure aux élèves. Ces derniers ont pu ainsi consacrer l'essentiel de leur travail à l'identification de points pertinents à sélectionner pour tracer un angle qui évalue effectivement le prognathisme c'est-à-dire qu'ils ont travaillé sur le modèle scientifique en jeu.

Notre démarche a été similaire pour la séance consacrée à la formation du complexe immun. Le travail des élèves portait essentiellement sur le choix des traitements à faire subir aux molécules pour éprouver le modèle de liaison Ag-Ac. La méthode permettant de visualiser la présence ou l'absence d'une telle liaison – le test d'Ouchterlony - était donnée aux élèves. Il eut de toute manière été illusoire de penser que des élèves de terminale puissent mettre au point une telle technique.
Le point que nous relevons ici est qu'il paraît important de distinguer, dans un protocole, ce qui relève du travail de conception de protocole sensu stricto du travail qui relève de la mise en ?uvre d'une méthode de mesure. Le premier correspond à un travail sur un modèle scientifique et sur les concepts de la discipline. Il paraît donc pertinent de conduire les élèves à le concevoir au moins en partie afin qu'ils étudient ces concepts. Le second correspond à des techniques dont il ne nous paraît pas pertinent de laisser la conception à des élèves de lycée même si l'apprentissage de leur mise en œuvre nous semble bien relever de l'enseignement de la discipline. Des fiches d'aide techniques associées à une explication orale ont donc été fournies aux élèves sur ces aspects techniques.

Expliciter le modèle scientifique en jeu pour permettre aux élèves de juger de la pertinence du protocole qu'ils élaborent

Les deux séances que nous avons décrites se situent après un premier travail sur les concepts en jeu. Dans le cas de la séance sur la mesure de l'angle facial, les élèves avaient préalablement vu que la lignée humaine se caractérisait par une diminution du prognathisme au cours de l'évolution. Dans le cas de la séance d'immu-

nologie, le schéma représentant les deux molécules impliquées avait été construit par les élèves dans la séance précédente et leur a été de nouveau donné. Dans les deux cas, les modèles étaient donc explicites et les fiches de consignes distribuées aux élèves comprenaient un schéma permettant de représenter ces modèles.

Pour la séance consacrée à la formation du complexe immun, l'explicitation du modèle en jeu s'accompagnait d'un travail spécifique sur ce modèle. Les élèves étaient invités à proposer des idées d'expériences permettant de mettre en évidence l'importance de la structure spatiale de l'antigène et de l'anticorps pour leur liaison. Cette tâche s'est révélée difficile et importante pour les élèves. Difficile, car elle implique de faire fonctionner le modèle pour établir des prévisions (par exemple la rupture de la liaison suite à une modification de structure) et à traduire le modèle en observables expérimentaux (par exemple indiquer que le protocole consistera à modifier la structure et à repérer la rupture de la liaison). Elle est également importante parce que l'observation des élèves au cours de leur travail montre que ces derniers se révèlent incapables de poursuivre s'ils n'ont pas franchi cette étape.

L'élaboration de la séance a donc consisté à décomposer le travail de conception de protocole en différentes étapes dont les premières portent sur l'identification du modèle en jeu et sur un travail de mise en correspondance du problème à résoudre avec les caractéristiques de ce modèle. L'objectif était que les élèves perçoivent le sens du travail qu'ils réalisent c'est-à-dire comprennent que la mesure de l'angle facial est un indicateur du prognathisme et que l'observation de la rupture d'une liaison Ag-Ac dans le cas de la modification de la structure de l'une des deux molécules est un argument en faveur de ce modèle.

On remarquera que le travail qui est effectué lors de ces deux séances de travaux pratiques correspond à des tâches différentes du point de vue des relations au modèle. Dans le cas de la mesure de l'angle facial, le modèle n'est pas discuté. Il est utilisé pour identifier une espèce. Dans le cas de la séance d'immunologie, c'est un travail d'évaluation du modèle qui est effectué. Les élèves sont conduits à en discuter la pertinence. Néanmoins, dans les deux cas, le modèle scientifique en jeu était explicite.

On peut également noter que la nécessité de prévoir les résultats attendus (séance d'immunologie) oblige les élèves à aller au bout de leur réflexion sur le modèle scientifique et fournit à l'enseignant des observables permettant de situer leur niveau de compréhension. Par ailleurs, l'instauration d'échanges à l'intérieur d'un groupe ou entre deux groupes pour collaborer à la production d'un protocole commun d'une part oblige les élèves à argumenter pour défendre leurs choix et augmente l'appropriation du modèle par les élèves et, d'autre part, augmente la pertinence des protocoles produits.

Expliciter les critères de qualité d'un protocole.

Les critères de qualité du protocole doivent être clairement énoncés et définis de manière à permettre aux élèves de juger de la qualité du protocole produit. Ces critères peuvent être destinés à évaluer la qualité de l'expérimentation (pertinence) ou destinés à évaluer la qualité du protocole en lui même (communicabilité, exécutabilité).

Les expérimentations menées en classe montrent que les élèves comprennent ces critères et peuvent se les approprier.

Choisir le matériel et faire réaliser le protocole pour tester son exécutabilité

Pour la séance portant sur la mesure de l'angle facial, une première expérimentation nous avait permis de constater que plusieurs binômes choisissaient un point sur la mandibule. De fait, disposant d'un crâne possédant cette mandibule, leur choix pouvait leur paraître pertinent. Ce choix n'est pourtant pas valide si on considère que nombre de fossiles de crânes ne possèdent pas cette mandibule et que le positionnement grossier de cette mandibule ne permet pas d'effectuer une mesure précise et reproductible. Notre stratégie a donc consisté à fournir deux crânes à chaque binôme, dont au moins un sans mandibule. Les élèves disposaient alors d'un élément leur permettant de ne pas retenir les points présents sur la mandibule. De fait, dans les expérimentations qui ont tenu compte de cet aspect, les élèves n'ont pas proposé de protocole comprenant un point sur la mandibule

Ainsi, pour évaluer le protocole qu'ils ont élaboré à l'aide du critère d'exécutabilité, les élèves doivent disposer d'éléments, sous la forme de matériel mis à leur disposition ou de tâches à effectuer, qui leur permettent de tester ce critère. L'ensemble de ces éléments constitue un milieu didactique au sens de Brousseau (Brousseau, 1998). C'est la constitution d'un tel milieu – et à cet égard l'enseignant joue un rôle central - qui leur permet d'être autonomes dans leur tâche de conception de protocole. Pour d'autres aspects pour lesquels nous n'avons pas pu mettre en place de tels retours du milieu ou de tels éléments, c'est l'enseignant qui validait les choix effectués et permettait aux élèves de poursuivre. Cela a été par exemple le cas pour le principe du protocole présenté pour les séances portant sur la formation du complexe immun.

Dans les deux cas, le protocole conçu a été réalisé ce qui peut permettre là aussi de vérifier son exécutabilité et présente également l'intérêt d'être motivant pour les élèves. Cette exécution peut être faite par le groupe lui-même (TP d'immunologie) mais aussi par un autre groupe dans la classe (TP de paléontologie) ou dans une autre classe de l'établissement voir une autre classe d'un autre établissement. Les critères de communicabilité et d'exécutabilité sont réellement testés dans ces deux dernières conditions puisqu'aucun échange direct entre les élèves n'est possible.

Enfin, on peut noter que réaliser le protocole avant de le rédiger ou en le rédigeant de nouveau peut améliorer sa rédaction (séance de paléontologie).

Choisir le matériel et les tâches de manière à donner aux élèves la possibilité d'évaluer la reproductibilité des procédures qu'ils conçoivent

Par travail autonome nous entendons travail conduit par un élève qui a le choix de la stratégie qu'il met en œuvre. L'autonomie des élèves ne peut donc être obtenue

que si ces derniers disposent d'éléments qui leur permettent d'évaluer cette stratégie. Ces éléments leurs sont fournis par la situation mise en place par l'enseignant, le milieu didactique élaboré.

Ainsi, lors de la séance consacrée à la mesure de l'angle facial, pour tester la précision du repérage des points sélectionnés ou le respect de la perpendicularité du pointeur laser par rapport à la face de l'aquarium nous avons demandé aux élèves d'effectuer deux mesures successives. Lorsque les résultats montraient des différences flagrantes, ils ont été amenés à réviser leurs choix. Ainsi, c'est un élément de la situation vécu par les élèves, la réitération de la mesure, qui leur permet de juger de la pertinence de leurs choix.

Organiser des confrontations de groupes d'élèves pour tester le critère de communicabilité

Il est difficile à un élève de juger du niveau de précision attendu par l'enseignant pour la description du protocole qu'il conçoit. Ce niveau de précision dépend du destinataire du protocole et un élément qu'il peut paraître indispensable de préciser pour un niveau donné peut être passé sous silence pour des élèves plus âgés, car il est alors considéré comme acquis. Par ailleurs, un élève pourra juger avoir exprimé un aspect avec suffisamment de précision alors qu'il subsiste une ambiguïté.

4. Rédaction collaborative d'un protocole commun

Nous avons par exemple observé que des élèves rencontraient cet écueil pour exprimer la position des points choisis sur le crâne ou pour décrire les différents traitements à appliquer aux molécules engagées dans la liaison Ag-Ac. Dans le cas de la mesure de l'angle facial, cette difficulté est augmentée par le fait qu'ils ne disposent pas du vocabulaire permettant de nommer les os de la boîte crânienne. Nous avons pallié cette difficulté en fournissant une fiche de vocabulaire sur les os du crâ-

ne et en organisant des confrontations entre différents binômes. Nous avons pu ainsi améliorer la précision des protocoles rédigés en organisant différents types de confrontations.

Un premier type de confrontation consiste à demander à un binôme de donner le protocole rédigé à un autre binôme afin qu'il le réalise. Lorsqu'un écart important a été relevé entre les résultats obtenus, cela a pu conduire les élèves à réviser leur manière d'exprimer les procédures à employer. Une variante de cette démarche a été de demander de rédiger un protocole qui sera mis en ?uvre par une autre classe. Le fait de connaître le destinataire du protocole – des élèves du même niveau plutôt que l'enseignant – a eu un effet positif par lui même.

Un second type de confrontation, utilisé pour la séance d'immunologie, a consisté à demander à deux binômes de concevoir un protocole commun à partir du travail des deux groupes (figure 4). Ce travail collaboratif a également eu des effets positifs sur la pertinence et la communicabilité des protocoles rédigés.
Les difficultés rencontrées par les élèves pour juger de la précision peuvent donc être en partie surmontées par les élèves si le dispositif mis en place les conduit à échanger sur le travail qu'ils réalisent.

Conclusion

Nos travaux permettent ainsi de mettre en évidence des éléments qu'un enseignant doit prendre en compte lorsqu'il souhaite concevoir une séance de conception de protocole. Le premier élément porte sur l'explicitation du modèle scientifique en jeu (Sanchez, 2008). Un protocole expérimental est dépendant du modèle qu'il vise à valider. Le second porte sur la sélection des tâches qui seront à la charge de l'élève. Ces tâches sont celles qui le conduisent à mettre en jeu les concepts de la discipline. Les autres éléments correspondent aux critères de pertinence, reproductibilité, communicabilité et exécutabilité du protocole qui est réalisé par les élèves. Il est nécessaire de construire des situations au cours desquelles les élèves peuvent évaluer leur protocole au regard de ces critères si l'on souhaite qu'ils s'engagent dans un travail autonome.

Ce travail a également été conduit pour l'enseignement des sciences physiques. Les résultats obtenus sont tout à fait convergents. Nos travaux nous paraissent donc avoir un caractère général et permettre des approches communes en sciences expérimentales. Ils ont par ailleurs donné lieu à une formation à l'IUFM de Lyon et ont été réinvestis dans le cadre d'une formation de formateurs organisée par l'INRP. D'une manière générale, ces travaux s'inscrivent dans un questionnement sur le renouvellement de l'enseignement des sciences. Ils conduisent à considérer la classe non pas comme un cheminement guidé par les questions posées par l'enseignant mais plutôt comme l'élaboration de situations de classe dont les caractéristiques permettent aux élèves de s'engager dans un travail d'investigation scientifique. Ce point nous semble important pour que les élèves donnent du sens aux tâches qu'ils accomplissent au cours des séances de travaux pratiques en sciences expérimentales.

Les auteurs tiennent à remercier Thierry Gaude pour ses précieux conseils dans la conception de la séance d'immunologie.

Bibliographie

BROUSSEAU G. - *Théorie des situations didactiques* - Grenoble : La Pensée sauvage, 1998.

MARZIN P., GIRAULT I., WAJEMAN C., D'HAM C., & SANCHEZ E. - *L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage en travaux pratiques, intégrant la conception de protocole expérimental par les élèves : trois T.P. expérimentés en géologie, chimie et physique* - Papier présenté aux Ve rencontres de l'ARDIST, La Grande-Motte, 2007, 17-19 octobre 2007.

ROCARD M., CSERMELY P., JORDE D., LENZEN D., WALBERG-HENRIKSSON H. & HEMMO V. - *Science Education Now : A Renewed Pedagogy for the Future of Europe,* European Commission, 2007.

SANCHEZ E. - *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la Terre* - Education & Didactique, 2 (2), 97-122, 2008.

SANCHEZ E., PRIEUR M., & FONTANIEU V. - *Modèles et modélisation dans l'enseignement des sciences de la Terre au lycée : Points de vue et pratiques d'enseignants,* Papier présenté aux Ve rencontres de l'ARDIST, La Grande Motte, 2007.

SÉRÉ M. G., & BENEY M. - Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique, *Didaskalia* (11), 75-102, (1997)

Des informations complémentaires peuvent être consultées sur :
http://eductice.inrp.fr/EducTice/projets/corise/copex/enseignement

■