

# Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année

**Bernard DARLEY**

LIDSE - EUDIBIO, Biologie Animale  
BP 53X - Université Joseph Fourier-Grenoble 1  
38041 Grenoble cedex, France.

## **Résumé**

*Il est classique de dénoncer chez les étudiants l'absence d'esprit critique, leur difficulté à énoncer des hypothèses cohérentes avec des données théoriques ou encore leur incapacité à interpréter des résultats expérimentaux. L'absence de consensus sur ce que doit être la démarche scientifique ne doit pas être prétexte à laisser le champ libre à un apprentissage empirique à l'épistémologie mal contrôlée. Cet article tente de dégager les points de consensus repérables à propos de la démarche scientifique et en propose une transposition didactique dans le cadre de travaux pratiques de physiologie animale destinés à des étudiants de deuxième année de premier cycle universitaire.*

**Mots clés :** *démarche scientifique, transposition didactique, épistémologie, travaux pratiques.*

## **Abstract**

*It is customary to denounce the lack of critical thinking in students, the difficulties with which they have in formulating coherent hypotheses or even their incapacity to interpret experimental results. The absence of consensus on what should be the scientific method should not become a pretext for leaving the field open to*

*uncontrolled learning and an empirical epistemology. This article attempts to draw out the points of consensus with respect to scientific method and proposes a didactic transposition of it within the framework of practical work on animal physiology, destined for second year university students.*

**Key words :** *scientific method, didactic transposition, epistemology, practical work.*

### **Resumen**

*Es clásico de denunciar en los estudiantes la ausencia de espíritu científico, sus dificultades para formular hipótesis coherentes con los datos teóricos o todavía su incapacidad para interpretar los resultados experimentales. La ausencia de consenso sobre lo que debe ser el procedimiento científico no debe ser pretexto para dejar el camino libre a un aprendizaje empírico de una epistemología mal controlada. Este artículo intenta de discernir los puntos de consenso señalados a propósito del procedimiento científico y sugerir una transposición didáctica en el marco de trabajos prácticos de la fisiología animal destinados a estudiantes de segundo año del primer ciclo universitario.*

**Palabras claves :** *procedimiento científico, transposición didáctica, epistemología, trabajos prácticos.*

## **INTRODUCTION**

Pour que l'enseignement universitaire de la biologie puisse être qualifié de scientifique, il se doit d'avoir deux exigences indissociables bien connues :

– ses contenus doivent être en accord avec les conclusions les plus récentes publiées par la communauté scientifique contemporaine. Cette «valeur scientifique» des savoirs transmis (dont l'une des qualités premières est d'avoir des sources identifiables et reconnues par les pairs) constitue le fondement des savoirs enseignés puisque c'est principalement sur elle que portera l'évaluation ;

– cet enseignement doit également amener ceux à qui il est destiné à distinguer ce qui relève du traitement scientifique d'un problème de ce qui est de l'ordre de l'affirmation, de l'opinion, du dogme, voire de la supercherie. C'est cette qualité qui va distinguer cet enseignement d'un enseignement dogmatique.

Si la première exigence est, sauf exception qui relève le plus souvent de l'anecdote, généralement satisfaite, on peut, en revanche, s'interroger sur la mise en œuvre de la seconde. L'enseignement scientifique tel qu'il est

actuellement dispensé à l'université permet-il aux étudiants d'être initiés aux processus de construction de cette discipline scientifique expérimentale ? Conduit-on suffisamment souvent les étudiants à s'interroger sur la pertinence d'un modèle et sur les limites de son champ d'application ? Leur donne-t-on les outils méthodologiques qui leur permettront de distinguer le scientifique du dogmatique ? (voir à ce propos les analyses de Rumelhard, 1979 et de Rancoule & Favre, 1993).

L'enseignement de la biologie à l'université se compose, en règle générale :

- de cours magistraux consacrés, pour l'essentiel, à la transmission de connaissances ;
- de travaux dirigés (TD) centrés sur des exercices de réflexion à propos de ces connaissances, ou sur la préparation aux travaux pratiques ;
- de travaux pratiques (TP) qui sont consacrés à la mise en application ou à l'illustration expérimentales des modèles proposés en cours ou en travaux dirigés.

Le problème posé plus haut peut donc se reformuler de la façon suivante : les travaux pratiques sont-ils, comme leur fonction paraît l'indiquer, des lieux de sensibilisation et d'initiation à la démarche scientifique ?

Répondre à cette question renvoie à deux sous-problèmes :

- quelle définition peut-on proposer de la démarche scientifique ?
- quelle transposition peut-on proposer pour cette dernière ?

## **1. ANALYSE ÉPISTÉMOLOGIQUE DE LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE**

Il m'a paru intéressant d'envisager cette analyse sous la forme d'une étude de l'évolution de l'idée de démarche scientifique au travers des principaux courants épistémologiques qui ont traversé l'histoire des sciences occidentales. Il est en effet difficile de faire l'économie de cette étude si l'on veut tenter de comprendre les débats existant entre les épistémologues contemporains.

Sans entrer dans ces débats, au demeurant passionnants, mon objectif est de tenter de faire apparaître, dans un premier temps, les points de désaccord entre ces différents courants dans la manière d'aborder scientifiquement un problème, avant de m'intéresser à ce qui les rassemble.

## 1.1. Les divergences : deux grands courants épistémologiques

Les divergences apparaissent lorsque l'on s'intéresse d'une part à la genèse du problème et aux procédures qui, selon les différents auteurs, conduisent à la formulation de l'hypothèse et, d'autre part, à l'image que l'on se fait des savoirs constitués et de leur mode d'élaboration. Pour ce qui concerne les sciences expérimentales, on peut, malgré l'aspect réducteur d'un tel découpage, ramener les approches à deux grandes écoles de pensée qui vont principalement s'opposer sur les deux points cités plus haut.

La première de ces écoles est centrée sur l'**induction**. Dans le cadre inductiviste, le problème, en tant que question clairement identifiée, n'est pas premier ; il ne devient important que secondairement, c'est-à-dire lorsque le chercheur possède suffisamment d'éléments objectifs pour le formuler. C'est la curiosité «spontanée» du chercheur qui le mène à collecter des informations au hasard de ses observations ; de cette collecte non orientée naîtra un certain nombre d'interrogations qui se synchrétiseront en un problème. La connaissance naîtra de l'accumulation de réponses satisfaisantes au problème. On retrouve, derrière le principe de l'induction, l'idée d'une préexistence des lois et d'un monde connaissable.

En 1620, Francis Bacon dénonçait, dans son *Novum Organum*, l'hégémonie du syllogisme dans la rhétorique des scolastiques, «*ce mode d'invention et de preuve qui commence par établir les principes les plus généraux, puis leur soumet les axiomes moyens, pour prouver ces derniers, est la mère de l'erreur et le fléau de toutes les sciences*» (in Pousseur, 1988, p. 108). Il faut, dit-il, suivre une démarche qui part «*des sensations et des faits particuliers ; mais s'élevant avec lenteur par une marche graduelle et sans franchir aucun degré, elle n'arrive que bien tard aux propositions les plus générales ; cette dernière méthode est la véritable mais personne ne l'a encore tentée* » (ibid., p. 39). En proposant d'observer la Nature pour en découvrir les lois plutôt que les déduire de prémisses contestables, Bacon pose les bases de la vérification expérimentale. On retrouve, bien entendu, cette approche chez Auguste Comte qui fait de l'observation l'arbitre de la pensée en posant le principe d'une science positive où «*partant de faits observables définis relativement à l'observateur, les lois naturelles sont établies dans la constante subordination de l'imagination à l'observation*» (*Discours sur l'esprit positif* 1844, in Kremer-Marietti, 1984). Mais si la référence à l'observation reste omniprésente chez A. Comte, sa méthodologie, on le verra plus bas, se démarque néanmoins de l'induction orthodoxe défendue par Bacon.

Le credo positiviste sera décliné par l'un des plus grands expérimentateurs du XIX<sup>e</sup> siècle qu'est Claude Bernard. «*Le savant complet*

*est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale. 1° Il constate un fait ; 2° À propos de ce fait, une idée naît dans son esprit ; 3° En vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, en imagine et en réalise les conditions matérielles. 4° De cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer et ainsi de suite. L'esprit du savant se trouve en quelque sorte toujours placé entre deux observations : l'une qui sert de point de départ au raisonnement, et l'autre qui lui sert de conclusion.»* (Bernard, 1984, p. 54) Ces étapes ont été rassemblées dans la formule OHERIC (Observation-Hypothèse-Expérimentation-Résultats-Interprétation-Conclusion) par André Giordan dans l'analyse critique qu'il fait de la méthode expérimentale telle qu'elle est pratiquée dans les classes de l'enseignement secondaire (Giordan, 1978).

On passe donc progressivement, de F. Bacon à C. Bernard, de la nécessité de faits et observations plurielles à un fait suffisant pour générer une «idée» dans l'esprit du chercheur. Mais la connaissance reste une construction qui se fait par accumulation de faits congruents ; accumulation qui est, dit Reichenbach, *«le moyen par lequel la science décide de la vérité. Pour être plus exacts, nous devrions dire qu'il sert à décider de la probabilité. Car il n'est donné à la science d'atteindre ni la vérité ni la fausseté, les énoncés scientifiques ne peuvent qu'atteindre des degrés continus de probabilité dont les limites supérieures et inférieures, hors d'atteinte, sont la vérité et la fausseté.»* (Reichenbach in Popper, 1973, pp. 25-26) Les lois de la nature, connaissance ultime rêvée par F. Bacon, deviennent probabilités en ce XX<sup>e</sup> siècle marqué par le principe d'incertitude d'Eisenberg.

La seconde école est centrée sur la **déduction**, non pas au sens formel d'Aristote, mais sur une déduction où des conjectures tiennent place de prémisses. L'origine du problème (déduction associant connaissances antérieures et observations fortuites ou provoquées...) importe peu ici ; l'important est qu'il soit là, véritable point de départ de la démarche. *«Aux questions proposées, "d'où tenez-vous ce savoir ? Quelle est la source ou le fondement de votre assertion ? Quelles sont les observations qui vous y ont conduit ?", je répondrais par conséquent ainsi : "Je ne sais pas : cette affirmation n'était qu'une pure et simple supposition[...] et si vous parvenez à mettre au point un test expérimental qui, selon vous, est susceptible de réfuter l'affirmation, c'est volontiers et dans toute la mesure de mes forces que je contribuerai à cette entreprise de réfutation".»* (Popper, 1985, p. 52) Pas plus que la genèse du problème n'est intéressante en soi, le principe d'universalité de la connaissance, ou de connaissance ultime, n'a de sens dans cette démarche. Une connaissance ne vaut que par sa capacité à nous rendre le monde compréhensible.

G. Bachelard et K. Popper convergent sur un certain nombre de points, en particulier dans la volonté qu'ils expriment de réconcilier empirisme et rationalisme et dans leurs attaques virulentes de l'inductivisme. Bachelard dénonce l'induction naïve qui interdit toute idée *a priori*, comme si «*devant le mystère du réel, l'âme peut se faire, par décret, ingénue*» (Bachelard, 1983, p. 14). La connaissance n'est jamais immédiate, l'observation est toujours trompeuse et l'on ne peut comprendre le réel si l'on n'a pas, au préalable, critiqué et désorganisé ses intuitions premières. La science ne s'élabore pas par ajouts successifs mais, pour Bachelard, contre les obstacles que dressent nos sens et nos habitudes, et contre les théories qu'il faut réfuter pour K. Popper. Pour ce dernier, «*le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou encore de la tester*» (Popper, 1985, p. 65). La cheville ouvrière de la démarche est la conjecture ; son origine importe peu, seules son heuristique et sa capacité à être testée sont intéressantes. On retrouve là l'idée de «*paradigme*» chère à Thomas Kuhn ; paradigmes concurrents s'opposant de manière brève mais violente lors des «*révolutions scientifiques*» ou coexistant, parfois haineusement, pendant plusieurs siècles. À l'opposé d'une science tranquille où chacun vient apporter sa pierre à l'édifice, Popper, Bachelard, Kuhn et Chalmers proposent une science en perpétuelle reconstruction où la communauté scientifique joue le rôle d'arbitre. Quant à l'idée d'une connaissance dont la probabilité de véracité croît avec le nombre de corroborations, Chalmers lui oppose simplement qu'un nombre de corroborations aussi grand soit-il, divisé par une infinité de cas possibles, donnera toujours une probabilité nulle (Chalmers, 1988, p. 38).

En résumé, je dirai que l'inductivisme considère que le problème n'est pas premier mais naît de l'analyse d'une observation judicieuse des faits (**savoir** observer) ou de l'analyse des résultats d'une expérimentation (**savoir** interpréter). La connaissance passe par la perception d'observables identifiés comme pertinents et c'est sur ces observables que la raison doit s'exercer. La réponse au problème est une synthèse *a posteriori* des interrelations liants ces observables entre eux. On retrouve là une démarche largement développée par F. Bacon, A. Comte et, dans une moindre mesure, par C. Bernard.

Le second courant épistémologique considère que le problème est non seulement premier mais constitue le moteur et l'axe d'orientation de la recherche qui lui est associée. Ce problème posé à notre raison appelle une réponse immédiate qui est une proposition *a priori*, conjecturale, qui devra être validée *a posteriori*. On retrouve là les grands principes du courant rationaliste largement dominé par les écrits de K. Popper et de G. Bachelard. À la validation expérimentale, T. Kuhn ajoute la validation sociale délivrée (ou non) par la communauté scientifique.

## 1.2. Les points communs

De tous les points communs aux différentes analyses épistémologiques de la construction des savoirs, la plus importante me paraît être celle-ci : la mise en œuvre d'une démarche scientifique n'est jamais gratuite, **elle est toujours une démarche de résolution de problème à propos d'un phénomène donné. C'est la quête systématique et minutieuse d'une réponse à un problème donné.** Cette affirmation pourra apparaître comme un truisme. Mais l'absence quasi générale de problématisation des protocoles de travaux pratiques ne rend pas inutile le rappel de cette apparente évidence.

Si l'on fait abstraction des discussions à propos de la genèse du problème et de celles, plus vives encore peut-être, à propos de la genèse des théories, et que l'on se concentre sur ce que l'on pourrait appeler la partie «centrale» de ce que chacun appelle la démarche scientifique (pour mieux la faire sienne et affirmer son unicité), à savoir la procédure de test de l'hypothèse (ou de la conjecture comme on voudra la nommer), on voit se dégager un consensus intéressant pour les enseignants que nous sommes.

F. Bacon définit déjà l'induction vraiment utile comme celle qui *«dans l'invention ou la démonstration des sciences et des arts fait un choix parmi les observations et les expériences, dégageant de la masse, par des exclusions et des réjections convenables, les faits non concluants »* (in Blanché, p. 41). Ce choix ne peut se faire qu'en référence à un idéal théorique prédéfini qui ressemble fort à une conjecture. Auguste Comte renchérit en signalant que *«même à l'égard des plus simples phénomènes [aucune interprétation ne serait possible] si l'on ne commençait souvent par anticiper sur les résultats en faisant une supposition provisoire, d'abord essentiellement conjecturale. [...] Sans cet heureux détour [...] la découverte effective des lois naturelles serait évidemment impossible»* (A. Comte, *Cours de philosophie positive*, t. II (1835), 28<sup>ème</sup> leçon, in Blanché pp. 163-164) ; à quoi il ajoute que *«si en contemplant les phénomènes nous ne les rattachions point immédiatement à quelques principes, non seulement il nous serait impossible de combiner ces observations isolées, et, par conséquent, d'en tirer aucun fruit, mais nous serions même entièrement incapables de les retenir ; et, le plus souvent, les faits resteraient inaperçus à nos yeux.»* (A. Comte, 1989, p. 32) Nécessité d'un cadre théorique préalable pour interpréter observation ou résultats expérimentaux, subordination de l'imagination à l'observation : on n'est pas très éloigné du principe «popperien» de la conjecture falsifiable, lui-même assez proche du principe déterministe de vérification expérimentale défini par C. Bernard.

L'ensemble des courants épistémologiques se retrouve finalement d'accord autour des procédures à mettre en œuvre pour tester une hypothèse, même si les processus de sa genèse les opposent : cadre théorique préalablement défini, hypothèse formulée de manière à pouvoir anticiper ses conséquences, protocole expérimental reproductible selon les principes déterministes définis par C. Bernard, interprétation des résultats dans le strict champ d'application défini par la formulation du problème. Au cours de cette dernière étape les divergences réapparaissent, conclusion finale pour les uns, modèle conjectural temporairement corroboré pour les autres.

En nous replaçant dans notre contexte d'enseignant et en faisant abstraction des débats philosophiques qui opposent les épistémologues à propos de l'origine du problème et de la genèse des théories, on peut donc dégager un noyau consensuel autour du fait que les lois, les modèles, les théories, ont pour finalité de rendre un phénomène observé accessible à notre raison (que cette finalité soit ultime ou relative nous importe peu). Et que pour avoir le statut de scientifiques, les propositions ainsi élaborées doivent faire l'objet d'une double validation :

- une validation expérimentale reproductible, basée sur une confrontation rigoureuse entre les assertions proposées comme conséquences du fonctionnement du phénomène tel qu'on l'a imaginé et le fonctionnement expérimentalement appréhendé ;

- une validation sociale ; les propositions doivent faire l'objet de communications publiques soumises à la critique des pairs et conduire, sinon à un consensus général, au moins à la création d'un courant de pensée.

Il semblerait, pour en conclure avec cette introduction, que les deux approches décrites soient, en fait, la description décalée d'une même procédure. L'ensemble des analyses faites par les épistémologues modernes (Chalmers, Kuhn) ainsi que celles faites par les sociologues des sciences (comme Bruno Latour (1989), tendent à montrer que l'approche dite déductiviste correspond à une description de l'activité de recherche plus conforme à la réalité avec son aspect foisonnant, ses boucles de rétroaction multiples. Alors que l'approche inductiviste est plus conforme à la réécriture *a posteriori*, structurée, linéaire, conforme aux impératifs de la narration qui nécessite un début (la quête du problème à l'aide d'indices), un développement (la formulation du problème et sa résolution à partir des indices accumulés) et une conclusion (la loi universelle).

Sans entrer plus avant dans le débat, on ne peut pas en terminer sans évoquer les interférences entre ces deux écoles et les approches réaliste ou idéaliste du monde physique et biologique dans lequel nous évoluons et qui se trouve être, en même temps, objet d'étude. On peut, sans que cela

soit incompatible, être inductiviste et réaliste, c'est-à-dire empirique au sens premier, celui qui par l'expérience découvre les lois de la nature, ou être inductiviste et idéaliste, version plus intellectualisée de la première, qui en conserve le processus heuristique tout en étant plus prudent sur la qualité d'existence du monde qui nous entoure. Le positivisme d'A. Comte peut être rangé dans cette dernière catégorie. La même déclinaison peut être faite avec déductivisme, réalisme et idéalisme.

Jacques Désautels et Marie Larochelle (1989, 1993) ont bien montré, dans un ensemble de publications, que l'approche du réel chez les adolescents ainsi que chez les enseignants était essentiellement de nature réaliste, analyses qui confirment des données personnelles (Darley, 1993). L'objet d'étude existe bien en soi puisque je peux le voir sur la table ou le mettre en évidence au travers de l'enregistrement de ses manifestations. Même si le débat entre réalistes et idéalistes dépasse de beaucoup les objectifs pédagogiques prioritaires que l'on peut se donner dans l'enseignement scientifique expérimental, on peut cependant supposer que cette approche réaliste n'est pas étrangère à la présentation très «phénoménologique» de la démarche scientifique que l'on retrouve communément dans les classes et les manuels.

## 2. ENSEIGNER LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

C'est une chose que d'analyser la démarche d'un point de vue épistémologique, une autre que de mettre cette démarche en pratique dans une classe, et une autre encore que d'en faire un objet d'apprentissage. Le problème qui se pose est, en effet, de savoir s'il est possible, à l'instar des savoirs, de proposer une transposition didactique d'une pratique sociale, celle du chercheur en l'occurrence.

Pour que cela soit possible, comme tout objet d'enseignement, il devra posséder un statut social qui le fasse reconnaître comme pertinent par la communauté scientifique comme par la noosphère. Il devra satisfaire, d'une part, aux critères de scientificité nécessaires pour satisfaire la première, d'autre part aux critères de dépersonnalisation-décontextualisation et de programmabilité pour répondre aux contraintes de la théorie de la transposition didactique telle qu'elle a été définie par Yves Chevallard (1985).

À la suite de ce qui a été développé ci-dessus, je définirai **la démarche scientifique à transposer** comme étant l'ensemble des procédures faisant, pour l'essentiel, appel à la pensée convergente. En éliminant les processus où intervient principalement la pensée divergente (capacité à imaginer les termes du problème, le choix de l'approche, l'intégration dans un ensemble

de systèmes, etc.), on élimine tout ce qui peut être ramené à une composante personnelle caractéristique de chaque chercheur, non «dépersonnalisable», et de ce fait non transposable. En centrant la transposition sur les procédures de test (test du problème par l'élaboration d'hypothèses et test des hypothèses par l'élaboration d'un protocole expérimental), on limite le domaine d'apprentissage à la maîtrise de la pensée rationnelle. Qu'il s'agisse d'élaborer des hypothèses et de tester expérimentalement leurs conséquences théoriques en réponse à un problème dont on aura préalablement défini le domaine d'investigation ; ou encore d'élaborer un protocole expérimental en définissant avec rigueur le matériel d'expérimentation, les techniques et les appareils nécessaires, la chronologie et le protocole de recueil des données, le protocole de traitement de ces données et l'interprétation que l'on donnera des résultats dans le champ d'application du modèle qui sous-tend l'hypothèse ; toutes ces étapes nécessitent la mise en œuvre d'une pensée convergente, rationnelle, intégrant un nombre plus ou moins grand de paramètres imposés par l'énoncé même du problème.

On retrouve là la procédure d'analyse d'une problématique, et de test des hypothèses qui en découlent, utilisée classiquement par l'ensemble de la communauté scientifique, quelle que soit l'école philosophique dont elle se réclame. Cette procédure est, aussi, suffisamment généralisée pour ne pas être celle d'une personne ou d'un contexte en particulier. Elle peut, enfin, se découper en étapes chronologiquement liées. Cet ensemble de conditions la rend conforme aux exigences définies plus haut et lui permet d'accéder au rang d'objet transposable didactiquement dans une situation d'enseignement.

Même si ces exigences peuvent paraître contraignantes, elles ne déboucheront pas forcément vers des situations d'enseignement uniformisées, clones répétitifs d'un modèle unique. Des propositions originales peuvent toujours apparaître lors de la formulation des hypothèses ou lors de l'élaboration du protocole, contribuant ainsi à la diversité des solutions possibles ; celles-ci sont cependant confinées dans un champ d'application qui reste le même pour l'ensemble de la classe et permet une gestion pédagogique de la séance. Ce qui ne pourrait pas être le cas si chaque étudiant avait la possibilité de proposer sa propre formulation du problème. Se mettre d'accord, préalablement à toute procédure de test, sur le problème que l'on souhaite traiter au sein de la communauté scientifique que constituera la classe et exploiter au mieux une situation toujours très, souvent trop, riche sans la diversifier inutilement fait partie des contraintes qui s'imposent à toute communauté scientifique.

L'appel à l'imagination, s'il reste apparemment très limité, n'est toutefois pas absent comme on le verra plus bas au travers de quelques exemples.

## 2.1. Rappel de l'existant

L'analyse de soixante-quatre protocoles de TP associée à des entretiens avec des enseignants confirment les analyses faites par d'autres auteurs (Giordan, 1978 ; Johsua, 1985 ; M.-A. Johsua & S. Johsua, 1987a, 1987b ; Develay, 1989 ; Grosbois et al., 1992 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Orlandi, 1993) qui montraient combien était privilégié le canevas narratif de la démarche scientifique. L'absence de problématisation des protocoles est une règle quasi générale. L'action (la manipulation) est survalorisée et imposée comme pertinente sans jamais être justifiée d'un point de vue théorique (modèle mobilisé, hypothèses associées...). Elle apparaît comme l'élément premier et spontané de la démarche de recherche : ouvrir ses yeux et manipuler d'abord, recueillir les indices et réfléchir ensuite. Les étudiants sont ainsi conduits à suivre une «histoire» où une manipulation va leur permettre de recueillir des indices dont «l'interprétation» (selon le terme consacré) les conduira, quasi simultanément, à formuler le problème sous-jacent et à lui apporter les réponses adéquates. Si ce problème est celui attendu par l'enseignant, et que les réponses apportées sont conformes aux connaissances préalablement transmises, l'étudiant aura franchi le parcours sans faute. L'enseignant attend de l'étudiant qu'il se comporte comme un parfait petit Sherlock Holmes, recueillant avec justesse les indices pertinents, sans attacher le moindre regard aux autres (ce qui ne peut se concevoir que lorsque l'on connaît, à l'avance, la chute de l'histoire). Les étudiants, face à cette attente, vont se comporter comme de bons investigateurs «ingénus» et recueillir tous les observables qu'ils seront capables d'identifier, sans qu'aucun cadre théorique préalablement défini ne permette de juger de leur pertinence. L'objectivité du chercheur devient ainsi, aux yeux des étudiants, sa capacité à recueillir tous les indices sans préjugés et non plus sa capacité à juger de l'adéquation du modèle testé à la lumière des résultats expérimentaux que ce dernier permettait d'anticiper.

Ce glissement épistémologique serait tolérable si la construction didactique qui y conduit le justifiait au nom d'objectifs d'apprentissage clairement identifiés et, surtout, si ce type de construction n'avait pas une position hégémonique dans nos enseignements pratiques. L'absence des premiers et la réalité de la seconde rend urgente toute tentative susceptible de conduire à une meilleure explicitation des objectifs ainsi qu'à un rééquilibrage des pratiques. Plus que la procédure même, qui en vaut largement une autre, c'est bien cette absence d'objectifs pédagogiques clairement définis qui la rend critiquable.

## 2.2. Cadre théorique pour une alternative possible

Une alternative à ces pratiques consiste à proposer aux étudiants des protocoles de TP où l'expérimentation devient une réelle procédure de test pour des hypothèses préalablement formulées et discutées. Ce qui conduit à associer au protocole manipulateur un problème préalable, clairement formulé dans un cadre théorique lui-même clairement circonscrit. Aux étudiants ensuite d'élaborer la problématique associée en fonction des données théoriques qui leur sont fournies. Cette problématique doit les conduire à proposer des anticipations sur les résultats qui seront autant de réponses possibles au problème. Anticipations qui devront, sous peine de nullité, être testables expérimentalement.

Pour mener à bien cette transposition didactique, cinq difficultés majeures ont été identifiées. La première difficulté réside dans ce que Guy Brousseau (1986) appelle la dévolution du problème. Ce qui peut prendre des mois chez le chercheur (trouver de la pertinence et de l'intérêt à résoudre un problème donné) doit être ramené, dans le cadre d'un enseignement, à quelques minutes le plus souvent, à quelques dizaines de minutes dans le meilleur des cas.

La seconde difficulté va se poser en terme de crédibilité du problème proposé. Présenter à des étudiants comme original un problème dont ils trouveront la réponse dans le premier ouvrage venu n'est pas la meilleure manière de les inciter à réfléchir. Le problème doit donc être un vrai problème, dans lequel l'étudiant doit pouvoir s'investir en pensant que sa solution sera originale et digne d'intérêt.

La troisième difficulté réside dans le fait que les hypothèses proposées doivent être testables expérimentalement et en toute autonomie par l'étudiant. Dans le cas contraire, c'est de nouveau l'enseignant qui se retrouverait maître du jeu. Le protocole expérimental associé aux hypothèses doit donc être suffisamment simple sans toutefois être simpliste.

La quatrième difficulté est de pouvoir amener les étudiants à avoir une analyse critique du travail effectué, à remettre en cause des résultats expérimentaux sans rejeter l'ensemble du fonctionnement de la science, à prendre conscience, enfin, de la dimension sociale, négociée, du savoir scientifique. À trop vouloir faire que les expériences «marchent», on court en effet le risque de jeter le discrédit sur l'ensemble de la discipline lorsque l'on proposera aux étudiants des expérimentations dont le résultat ne sera pas exactement celui décrit dans le cours ou les manuels.

La dernière difficulté, enfin, est d'arriver à concilier l'ensemble de ces contraintes didactiques avec les contraintes institutionnelles et techniques auxquelles l'enseignement pratique est confronté.

### 3. LE CHOIX DU CONCEPT-SUPPORT

Pour des raisons diverses qu'il serait fastidieux d'énumérer ici, le choix s'est porté sur le concept de potentiel d'action, que l'on peut définir comme la réponse élémentaire d'une fibre nerveuse à toute stimulation supra-liminaire. Ce concept fait l'objet, dans l'enseignement de premier cycle universitaire, d'une étude à deux niveaux anatomiques distincts : celui de la membrane des fibres nerveuses (ou de son ultra-structure) lors des cours magistraux ; celui de l'organe (c'est-à-dire du nerf) en travaux pratiques.

Lorsque ce travail a débuté, son enseignement consistait à décrire et à comparer, d'un point de vue théorique, les deux types de potentiels d'action (celui enregistré au niveau de la membrane d'une fibre ou potentiel d'action d'une fibre, et celui enregistré au niveau de l'enveloppe d'un nerf, ou potentiel d'action nerveux), avant de proposer aux étudiants un TP d'illustration portant sur la réponse de l'organe, c'est-à-dire du nerf.

La similitude du vocable utilisé («potentiel d'action d'une fibre» et «potentiel d'action nerveux») ainsi que la similitude graphique de certains enregistrements proposés pour caractériser l'un et l'autre, entraînent très souvent, chez les étudiants, une confusion entre le premier phénomène, caractérisant d'une façon très précise le fonctionnement d'une unité nerveuse, et le second qui n'est rien d'autre qu'un bruit de fond lié à l'activité d'un organe composite. Cette confusion entre deux niveaux d'interprétation et de signification physiologique des phénomènes électriques associés à la propagation d'un message nerveux constitue un obstacle majeur à l'appropriation du concept. Il y avait donc là un double enjeu d'apprentissage : cognitif d'une part et méthodologique d'autre part.

La solution proposée à ce problème a été d'inviter les étudiants à élaborer leur(s) propre(s) construction(s) théorique(s) du potentiel d'action nerveux à partir des données relatives au potentiel d'action d'une fibre et de procéder, ensuite, au test expérimental de leurs assertions. Cette démarche avait le double intérêt de les sensibiliser d'abord à la dimension sommative du potentiel d'action nerveux, par opposition à la dimension unitaire du potentiel d'action de la fibre (le potentiel d'action nerveux étant représentatif du fonctionnement du nerf, il est donc la résultante des phénomènes électriques associés à l'activité des éléments qui le constituent), et de les amener ensuite à proposer des constructions théoriques argumentées préalablement aux tests expérimentaux. Ceci à l'inverse de ce qu'on leur demande généralement de faire, à savoir mettre en évidence expérimentalement, **avant** de l'interpréter, un phénomène biologique à l'aide d'un protocole idoine et d'un appareillage qui produira, comme par hasard, l'observable attendu (à condition, bien entendu, que l'étudiant manipule «correctement», c'est-à-dire suive scrupuleusement le protocole).

Cette demande d'une anticipation explicite et argumentée du résultat attendu s'est révélée être, pour les étudiants, une approche du TP en rupture totale avec leurs habitudes.

#### 4. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE DE LA SÉQUENCE

La séquence proposée a été découpée en cinq étapes pédagogiques :

1 – un temps de contextualisation du problème, comprenant l'énoncé global du problème (quel est le mode de fonctionnement d'un nerf ?) et l'exposé des données minimum sur le fonctionnement du potentiel d'action d'une fibre ;

2 – un temps de dévolution du problème, au cours duquel les étudiants sont clairement informés de ce que l'on attend d'eux et se voient poser un problème clairement identifié ;

3 – un temps de réflexion et de formulation personnalisée des réponses possibles ;

4 – un temps d'exposition des conjectures et de validation expérimentale ;

5 – un temps de confrontation des résultats obtenus et de formulation commune d'une proposition de réponse.

Les temps 1 et 2 sont regroupés dans un TD de deux heures. Le temps 3 correspond au délai de quinze jours qui sépare généralement le TD du TP. Quant aux temps 4 et 5, ils correspondent à une séance de TP de quatre heures. Le temps pédagogique, et c'est l'une des contraintes que nous nous sommes imposées, est le même que dans la formule antérieure ; mais la démarche, de strictement expositive et monstrative, devient problématisée.

Cette démarche ne doit pas simplement se traduire par un changement de forme, elle impose aussi un changement du rôle de l'enseignant qui doit apparaître davantage comme un partenaire que comme le recours suprême dont on attend tout. Si l'on veut que les étudiants traitent leur problème de façon personnelle et prennent conscience de la dimension négociée de tout savoir scientifique, l'enseignant doit se tenir en retrait, tout en veillant à ce que soient prises en compte, à égalité d'importance, toutes les propositions faites par les étudiants afin de ne pas orienter le débat du seul fait de son autorité. Les étudiants ayant à critiquer leurs assertions en fonction de leurs résultats expérimentaux, la cohérence interne de leur discours doit être sans faille, quelles que soient les conclusions auxquelles ils arrivent. L'objectif du TP n'est donc pas tant que les étudiants trouvent le «bon»

résultat (ce que l'enseignant pourra corriger *a posteriori*), mais bien davantage qu'ils s'initient à l'analyse critique de leurs anticipations au regard des résultats expérimentaux.

## 5. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'ambition de ces premières expérimentations était de tester la faisabilité d'une telle procédure avant d'en mesurer les impacts éventuels sur l'aspect cognitif des apprentissages.

Quel accueil les étudiants allaient-ils réserver à ce type d'exercice ? Quelle serait leur implication ? Quel serait le niveau de leurs productions ? Telles paraissaient être les premières questions auxquelles il nous fallait apporter une réponse avant d'aller au-delà.

### 5.1. L'accueil du problème par les étudiants

On ne peut pas dire que l'accueil du problème proposé à la fin du TD ait soulevé un enthousiasme sensible chez les étudiants. Il s'agit d'une démarche qui les déroutait puisqu'ils sont davantage habitués à sortir de TD avec quelques certitudes supplémentaires que d'en repartir avec un problème dont on leur a dit qu'ils ne trouveraient nulle part la solution-type. Le premier sentiment perceptible est donc celui d'une inquiétude manifeste (et parfois clairement manifestée). L'intérêt pour le jeu qui leur a été proposé apparaît quelque temps plus tard lorsque des embryons de solutions sont formulés. Ce travail de réflexion change complètement leur manière d'aborder le TP. Après avoir exposé leurs propositions et suivi attentivement celles des autres groupes en début de séance, la vérification expérimentale s'impose alors à eux comme une nécessité et non plus comme un exercice formel.

### 5.2. Le niveau de production

Le niveau de production est souvent étonnant. Il ne peut, bien sûr, être d'un haut niveau scientifique puisque les étudiants n'ont pas encore totalement intégré les savoirs qui font l'objet du TP. Ce qui prime est la très grande variété des propositions. En dehors d'une minorité d'étudiants qui se sont, en pure perte, attachés à plagier les ouvrages de référence à la recherche d'une réponse qu'ils ne pouvaient y trouver, la majorité des productions fait état, à la fois, d'une grande imagination et, très souvent, d'une rigueur à laquelle nous ne nous attendions pas.

L'imagination est un critère qui nous a semblé important dans la mesure où les enseignants reprochent trop fréquemment aux étudiants leur conformisme. De même, la rigueur qui accompagne la plupart des productions est significative des potentialités de raisonnement scientifique que les étudiants de premier cycle sont capables de montrer. Pour que cette rigueur s'exprime complètement, il nous a paru nécessaire d'imposer aux étudiants le passage par l'écrit. Rien ne pourra être soumis à discussion ou proposé comme solution qui n'aura été rédigé en termes propres à être communicables et compréhensibles par tout le groupe. Ce principe de base de la construction des savoirs scientifiques doit impérativement être une règle incontournable lors de ce type d'exercice en classe.

Parmi les hypothèses les plus fréquemment proposées, on trouve l'additivité et la non-additivité des manifestations électriques des neurones. Dans le premier cas la réponse du nerf est directement proportionnelle, à un moment donné, au nombre de fibres nerveuses stimulées. On a alors, en fonction de l'intensité de stimulation utilisée, une réponse d'amplitude variable. Dans le second cas les potentiels d'action ne s'additionnent pas ; ils se placent, disent les étudiants, «*les uns derrière les autres*», comme la première feuille de papier qui masque toutes les feuilles de la ramette. Conséquence immédiate : la réponse du nerf est constante quelle que soit l'intensité de stimulation puisqu'une seule fibre recrutée entraîne une réponse maximale. À ces deux hypothèses de base viennent se greffer des hypothèses complémentaires prenant en compte les différentes catégories de fibres nerveuses et leurs vitesses de propagation respectives. On aura, ainsi déclinée, toute une série d'enregistrements possibles. Mais l'une des hypothèses les plus étonnantes fut celle émise par un étudiant qui proposa que la grandeur additive n'était pas l'amplitude des potentiels mais leur durée. La réponse du nerf devenait donc un enregistrement d'amplitude égale à celle du potentiel d'action d'une fibre mais d'une durée proportionnelle au nombre de fibres stimulées. Ce qu'il envisageait de vérifier expérimentalement, tout en ne pensant pas, disait-il, que cette hypothèse soit très raisonnable compte tenu du fait que toutes les fibres étaient stimulées au même moment. La consigne était de traiter rationnellement toute hypothèse et de lui associer un test expérimental ; ce qu'il fit fort bien.

À titre d'exemple de production, le protocole n° 35 (voir figure 1) élaboré par un groupe de trois étudiants, reflète bien la diversité des hypothèses envisageables avec les données du problème. Dans ce protocole, trois facteurs ont été pris en compte : la durée, la vitesse de propagation et l'amplitude des PA (potentiels d'action). Sept hypothèses sont proposées, correspondant aux différents cas possibles. Les réglages des calibres de l'oscilloscope accompagnent chacune des propositions ainsi qu'une approximation quantitative des résultats. Les enregistrements anticipés sont bien détaillés et permettent de comprendre comment la

résultante a été obtenue, même si les résultats proposés ne sont pas toujours exacts. Cette résultante a été soit construite comme une courbe englobante (hypothèses 1, 4 et 5), soit comme une valeur moyenne (hypothèses 2 et 3), mais jamais comme la résultante d'une sommation d'amplitudes de PA.

### 5.3. Analyse quantitative des productions

72 protocoles ont été élaborés par les 190 étudiants concernés ; 26 proviennent d'étudiants isolés, 46 ont été préparés par des groupes de 2 à 6 étudiants.

Les critères d'analyse ont été les suivants :

1 – le protocole proposé répond-il ou non à un problème explicite ?

oui : 86% non : 14%

2 – les hypothèses sont-elles ou non posées ?

oui : 92% non : 8%

3 – quel est le nombre d'hypothèses envisagées ?

0 : 8% 1 : 31% 2 ou 3 : 26% ≥ 4 : 35%

Deux protocoles présentent un maximum de 13 et 14 hypothèses proposées.

4 – quel est le nombre de facteurs pris en compte (maximum abordables à leur niveau : 4) ?

0 : 8% 1 : 49% 2 : 19% 3 : 18% 4 : 5%

5 – les résultats proposés sont-ils ou non quantifiés ?

oui : 54 % non : 46%

On peut retenir de ces données que les étudiants sont, dans leur grande majorité, capables de rappeler le problème et les hypothèses qui fondent leurs propositions de protocoles et d'envisager un nombre conséquent d'hypothèses testables expérimentalement en relation avec les facteurs identifiés. La quantification des résultats reste, pour beaucoup, une difficulté non négligeable.

# Protocole 35

## POTENTIEL D'ACTION NERVEUX

anatomie d'un nerf = ensemble de X fibres

signal enregistré = ensemble des signaux des X fibres

propriétés individuelles des fibres :- fibres myélinisées ou non --> vitesse de conduction

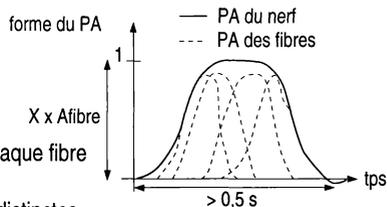
- une amplitude de réponse à l'excitation

- une durée de la réponse

- taille des fibres --> vitesse de conduction

### HYPOTHÈSE 1

fibres avec : même durée de "réponse"  
 même amplitude  
 vitesses de conduction différentes



Résultats : vitesses de conduction différentes pour chaque fibre

- durée du PA plus long ou plusieurs pics si

grande différence et fibres divisées en catégories bien distinctes

=  $\Sigma$  des PA des X fibres qui seront différents dans le temps

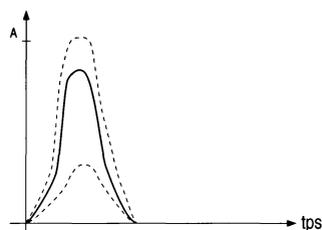
- Amplitude du PA nerf = Amplitude fibres x nb de fibres

- forme : différente de l'overshoot

calibre de l'oscillo :  $A = X \times mV$ , temps : div = 0,5 ms

### HYPOTHÈSE 2

fibres avec : même durée de "réponse"  
 amplitudes différentes  
 mêmes vitesses de conduction



Résultats : forme de l'overshoot

durée de l'overshoot

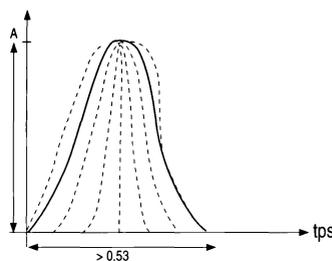
amplitude < amplitude de l'overshoot de X fibres

si  $A \ll X$  fibres alors grosse différence entre les fibres

calibre oscillo : tps = 0,1ms/div A = 5V/div

### HYPOTHÈSE 3

fibres avec : durées de "réponse" différentes  
 même amplitude  
 mêmes vitesses de conduction



Résultats : forme de l'overshoot

amplitude de l'overshoot x X fibres env.

durée > durée de l'overshoot

période réfractaire fortement marquée

si nb de fibres avec durée max fortement marqué

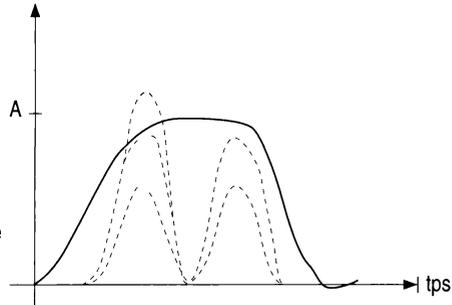
calibre oscillo :  $A = 5V/div$  tps = 0,5 ms/div

**HYPOTHÈSE 4**

fibres avec : vitesses de conduction différentes  
 A différentes  
 même durée de réponse

Résultats : -  $A < A$  de X fibres  
 - durée > durée overshoot  
 - forme différente overshoot  
 - période réfractaire + ou - marquée

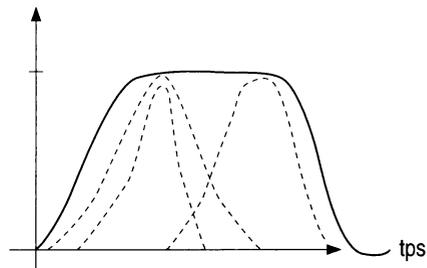
calibre oscillo : tps = 1s/div      A = 5V/div



**HYPOTHÈSE 5**

fibres avec : - vit. de cond. différentes  
 - durées de réponse dif.  
 - A identiques

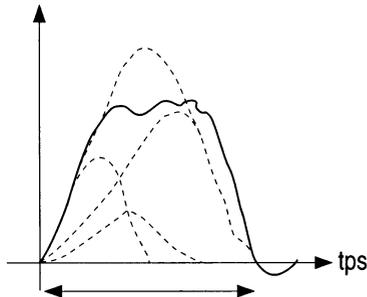
Résultats : A = A de X fibres  
 durée = hyp 4 et hyp 3  
 forme différente de l'overshoot



**HYPOTHÈSE 6**

fibres avec : - mêmes vit. de cond  
 - durées de réponse différentes  
 - A différentes

Résultats :  $A < A$  de X fibres  
 durée > durée overshoot  
 forme différente de l'overshoot



**HYPOTHÈSE 7**

fibres avec : - vit. de cond. différentes  
 - durées de réponse différentes  
 - A différentes

Résultats : A différente de l'overshoot  
 durée > overshoot  
 forme différente de l'overshoot

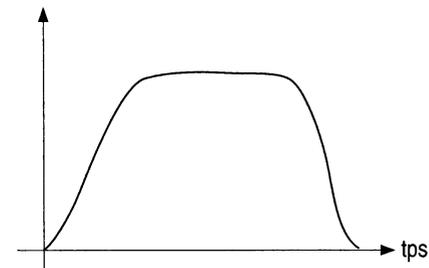


Figure 1 : Exemple de production d'étudiants (protocole n° 35)

## 6. QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION

Au-delà des productions et de l'analyse que l'on pouvait en faire, il nous est apparu opportun de faire remplir, par les étudiants, un questionnaire d'évaluation sur la manière dont ils avaient perçu ce TP et sur ce qu'ils en avaient retiré. Ce questionnaire, anonyme, a été diffusé auprès de 120 étudiants environ ; 82 ont pu être analysés, ce qui représente un peu moins de la moitié des étudiants concernés mais constitue, néanmoins, un échantillon suffisamment important pour être représentatif.

### 6.1. Les réponses au questionnaire

Les résultats sont exprimés en pourcentages arrondis à l'unité la plus proche.

***Qu'avez-vous pensé de la façon dont le potentiel d'action était présenté cette année? Était-ce :***

- |                       |     |                    |    |
|-----------------------|-----|--------------------|----|
| – complètement confus | 10% | – peu intéressant  | 9% |
| – intéressant         | 76% | – très intéressant | 5% |

***Le fait de réfléchir avant le TP sur ce que vous alliez devoir trouver a rendu le TP :***

- |                       |     |                    |     |
|-----------------------|-----|--------------------|-----|
| – complètement confus | 6%  | – peu intéressant  | 5%  |
| – intéressant         | 73% | – très intéressant | 16% |

***La recherche a priori des différentes formes possibles du PA est un exercice qui vous a paru :***

- |                  |      |               |     |                    |     |               |    |
|------------------|------|---------------|-----|--------------------|-----|---------------|----|
| – très difficile | 5%   | – difficile   | 66% | – facile           | 16% | – très facile | 0% |
| – sans intérêt   | 3,7% | – intéressant | 60% | – très intéressant | 6%  |               |    |

***La recherche des différentes formes possibles du PA vous a :***

- complètement embrouillé l'esprit 6%
- rien apporté du tout 4%
- amusé 18%
- permis de mieux comprendre la différence entre PA fibre et PA nerf 62%
- demandé trop de temps pour un gain nul ou très faible 20%

***Lors des manipulations du premier TP, pour vous, il y avait :***

- un enjeu parce que vous aviez l'impression de pouvoir vérifier vos prévisions 62%
- aucun enjeu parce que, de toutes façons, vous saviez ce que vous alliez obtenir 24%

**Lors de la mise en commun des résultats avez-vous eu l'impression :**

- que vos résultats n'avaient aucun intérêt **16%**
- qu'il n'y a pas eu de discussion sur vos propositions **22%**
- de participer à un débat où chacun pouvait défendre ses résultats et ses interprétations **54%**

**Pensez-vous que ce genre de TP :**

- est sans intérêt parce qu'il n'apprend rien **1%**
- est sans intérêt parce qu'on n'y comprend rien **10%**
- devrait être plus fréquent **18%**
- est intéressant parce qu'il fait réfléchir **55%**
- est intéressant parce qu'on a l'impression de participer à une recherche **17%**

**Libre opinion : avez-vous des choses à ajouter sur l'intérêt ou l'absence d'intérêt de ce TP (par rapport à l'an dernier, par exemple, pour les redoublants) ?**

## 6.2. Analyse des réponses

Si 81% des étudiants ont jugé cet ensemble TD/TP intéressant ou très intéressant, ils sont quand même 19% à l'avoir trouvé complètement confus ou peu intéressant. Ce résultat, encourageant pour une première tentative, indique néanmoins que près d'un cinquième des étudiants n'ont pas été satisfaits et que la forme mérite d'être encore travaillée. Ce résultat est à rapprocher de ceux obtenus aux questions portant sur l'apport de la réflexion *a priori* et de la mise en commun des propositions. 9% des étudiants pensent que cette présentation ne leur a rien apporté, voire complètement embrouillé l'esprit, 16% ont eu l'impression que leurs résultats n'avaient aucun intérêt et 22% qu'il n'y a pas eu de discussion sur leurs propositions. Dernier chiffre qui est à rapprocher des 20% qui reprochent à cet exercice de leur avoir demandé beaucoup de travail pour un gain nul ou très faible. Ces résultats négatifs mettent nettement en cause l'exploitation insuffisante et le manque de valorisation de leur travail lors de l'introduction du TP. Il est donc important que les enseignants rendent ce travail crédible en accordant à l'exposé des propositions et à leur discussion le temps nécessaire pour que les étudiants voient leur travail suffisamment valorisé, même s'il est critiqué.

Il en est de même pour la phase de dévolution du problème. Pour que ce dernier soit crédible, il doit donner aux étudiants l'impression qu'ils ont un réel travail de réflexion à produire, travail qui doit dépasser le simple exercice formel. Le fait que 24% des étudiants interrogés n'aient senti

aucun enjeu dans leur travail montre combien cette phase de transfert et de crédibilité du problème proposé est délicate. On ne peut, certes, éliminer la difficulté posée par les redoublants qui «connaissent» la réponse pour avoir pratiqué ces TP l'année précédente, même si la présentation en était différente ; je n'ai, hélas, pas de réponses satisfaisantes à apporter dans l'immédiat. Cela n'évacue pas pour autant cette question mais impose, bien au contraire, que l'on y réfléchisse.

Le résultat le plus négatif est, sans aucun doute, le fait que 10% des étudiants trouvent ce TP sans intérêt parce qu'ils n'y ont rien compris. C'est un problème de fond qui méritera que l'on s'y arrête les années prochaines. S'agit-il d'un obstacle lié au concept ? à la prise en main du matériel ? Est-ce la présentation telle qu'elle a été proposée cette année qui a entraîné des confusions ? Et dans ce dernier cas, lesquelles ?

L'exercice de réflexion *a priori* a été ressenti comme difficile, voire très difficile par 71% des étudiants. 16% seulement ont trouvé ce travail facile et 18% disent s'y être amusés. Ces réponses sont intéressantes à deux niveaux :

– le premier, c'est de constater que des étudiants peuvent trouver du plaisir à effectuer une tâche. C'est une satisfaction trop rare pour que l'on ne la relève pas ;

– le second concerne la difficulté ressentie. Elle est bien l'indice que cette tâche de construction *a priori*, d'anticipation des résultats à partir des conséquences tirées d'une hypothèse, qui est l'une des bases de toute activité scientifique, est une activité complexe qui mérite que son apprentissage soit initié aussi tôt que possible. Cette activité de réflexion, avant le TP, a été trouvée intéressante ou très intéressante par 89% des étudiants, 62% ont perçu un enjeu lors de la phase expérimentale et 54% ont eu l'impression de participer à un débat où chacun pouvait défendre ses résultats et ses interprétations, 17% acceptant l'analogie avec une initiation à la recherche. Ces résultats sont à rapprocher des 61% de protocoles qui présentaient un nombre d'hypothèses envisagées supérieur ou égal à 2 (le record à ce jour étant détenu par un protocole qui en proposait 14).

Enfin, 62% des étudiants disent que ce TP les a aidés à mieux comprendre la différence entre PA fibre et PA nerveux. Même si ce n'était pas l'objectif premier de cette expérimentation (ce dernier étant, je le rappelle, de tester la capacité des étudiants à produire une anticipation sur un phénomène), il lui est tellement associé qu'il est difficile de ne pas en faire état. La capacité de ce travail de résolution de problème à mieux faire percevoir le concept de potentiel d'action aux étudiants méritera, maintenant que la preuve est faite de sa faisabilité, une évaluation beaucoup plus rigoureuse que celle qui est rapportée ici. Il s'agit d'un travail complexe, qui

nécessite un protocole finement élaboré mettant en jeu un grand nombre de variables, et qui dépasse le cadre de ce travail mais qui en est, aussi, le prolongement direct.

Onze étudiants seulement ont utilisé l'espace «libre opinion». Deux sont négatifs. Le premier trouve que l'on n'a pas besoin de passer autant de temps sur ce problème, même s'il indique que ce TP lui a permis de mieux comprendre la différence entre les deux types de PA et qu'il l'a trouvé intéressant dans son ensemble. Le second, quant à lui, a trouvé ce TP «*non seulement sans intérêt, mais de plus cruel et dégradant, une expérience que je souhaiterais ne jamais avoir connue. Les expériences, conclut-il, n'ont aucun intérêt et, de plus, ne marchent presque jamais*». On peut penser que l'allusion à l'aspect dégradant concerne l'aspect vivisection de l'utilisation de grenouilles «cliniquement» mortes mais physiologiquement toujours «vivantes». Quant à la réflexion sur les expériences «*qui ne marchent presque jamais*», elle est caractéristique d'une vision monstrative de l'expérimentation qui, pour être crédible, doit reproduire fidèlement les données théoriques vues en cours.

Huit étudiants expriment des opinions plutôt positives, trouvant le TP intéressant même s'il demande des efforts. Trois souhaitent une mise en commun systématique des résultats en fin de TP, trois également font état de leur difficulté à maîtriser le matériel.

Le dernier, enfin, exprime une opinion très pragmatique : «*j'espère seulement, écrit-il, que l'examen sera un moyen d'avoir des points pour le DEUG et non le contraire*». C'est tout ce que l'on peut lui souhaiter.

## CONCLUSION

Il peut être nécessaire, avant de conclure, de rappeler la modestie des objectifs de cette séquence d'enseignement. Il s'agissait de proposer aux étudiants une approche différente d'un phénomène en les mettant en situation de construire, *a priori*, une ou plusieurs représentations possibles. Pour cela il fallait s'assurer qu'ils accepteraient :

- de passer du temps sur un problème non «rentabilisé» par une note ou par l'acquisition d'une connaissance rapidement réinvestissable lors d'un contrôle. En d'autres termes, était-il possible de rompre la coutume en troquant un apprentissage factuel réinvestissable à court terme contre un travail de pure réflexion ?

- de laisser libre cours à leur imagination pour envisager un maximum de cas possibles tout en rassemblant ces propositions dans un cadre

cohérent.

Ces deux préalables conditionnent tout le reste, à savoir leur participation en TP et lors de l'exposé public de leurs productions ; leur motivation à vérifier si leurs propositions sont, ou non, valides ; leur volonté de comprendre pourquoi leurs propositions, si logiques dans l'ensemble, n'étaient pas expérimentalement vérifiées ; leur envie, enfin, d'aller au-delà du simple relevé d'un enregistrement oscillographique en tentant d'en comprendre la réelle signification.

Avec 86% de protocoles qui présentent, peu ou prou, une tentative de raisonnement *a priori*, on peut estimer que les deux objectifs rappelés ci-dessus ont été atteints. Ces résultats, ainsi que ceux exprimés dans le questionnaire d'évaluation, sont encourageants dans la mesure où ce TP est perçu plutôt positivement, alors que les étudiants ont généralement des réactions très prudentes vis-à-vis de tout ce qui est, ou serait, susceptible de modifier les modalités de leur certification.

Ils ne doivent cependant pas faire oublier les critiques émises par certains étudiants à propos d'une prise en compte insuffisante de leurs propositions par les enseignants. Il s'agit là, pour l'essentiel, d'un travail de coordination et de concertation entre ces derniers ; de prise de conscience commune, également, de l'importance de l'apprentissage méthodologique qui se trouve en jeu.

Cette expérimentation est la deuxième à tester le cadre théorique rapidement décrit au début du paragraphe 4. La première s'était déroulée dans une classe de troisième des collèges avec comme concept-support la digestion de l'amidon par l'amylase salivaire. Les conclusions générales ont été identiques, à savoir une grande motivation des élèves pour le problème posé, une grande variété d'hypothèses proposées, des protocoles expérimentaux généralement cohérents et une grande rigueur dans leur mise en œuvre. Un second TP de niveau universitaire et une séquence de niveau première sont actuellement en cours de préparation sur le même modèle.

Malgré la fonctionnalité apparente de ce canevas, il est pourtant hors de question d'en faire un modèle universel pour l'enseignement scientifique de la biologie ; ce serait contraire au principe de la nécessité de développer la variété des approches qui est le fondement de toute science expérimentale. Tout au plus s'agit-il d'une alternative possible, parmi d'autres à rechercher, aux modèles expositifs et monstatifs, qui ont certes leurs fonctions, mais qui sont, il faut le reconnaître, quelque peu envahissants dans l'enseignement actuel de la biologie.

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1970). *Le rationalisme appliqué*. 1<sup>ère</sup> éd. 1949. Paris, PUF.
- BACHELARD G. (1972). *L'engagement rationaliste*. Paris, PUF.
- BACHELARD G. (1983). *La formation de l'esprit scientifique*. 1<sup>ère</sup> éd. 1938. Paris, Vrin.
- BACHELARD G. (1984). *Le nouvel esprit scientifique*. 1<sup>ère</sup> éd. 1934. Paris, PUF.
- BERNARD C. (1984). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. 1<sup>ère</sup> éd. 1865. Paris, Flammarion.
- BLANCHÉ R. (1969). *La méthode expérimentale et la philosophie de la physique*. Paris, Armand Colin.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- CHALMERS A. (1976). *Qu'est-ce que la science ?* 1<sup>ère</sup> éd. 1976. Paris, La Découverte.
- CHALMERS A. (1990). *La fabrication de la science*. Paris, La Découverte.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- COMTE A. (1989). *Cours de philosophie positive*. 1<sup>ère</sup> éd. 1842. Paris, Nathan.
- DARLEY B. (1993). Options épistémologiques exprimées par les enseignants-chercheurs et les enseignants du secondaire sur la démarche expérimentale. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XV<sup>es</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 537-544.
- DARLEY B. (1994). *L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie, analyses et propositions*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble 1.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ?* Québec, Presses de l'Université Laval.
- DÉSAUTELS J. & LAROCHELLE M. (1993). Constructivistes au travail : propos d'étudiants et d'étudiantes sur leur idée de la science. *Aster*, n° 17, pp. 13-40.
- DEVELAY M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, n° 8, pp. 3-15.
- FAVRE D. & RANCOULE Y. (1992). Modéliser la démarche scientifique pour pouvoir l'enseigner. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XIV<sup>es</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 221-226.
- GIORDAN A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris, Le Centurion.
- GROSBOIS M., RICCO G. & SIROTA R. (1992). *Du laboratoire à la classe, le parcours du savoir, étude de la transposition didactique du concept de respiration*. Paris, ADAPT.
- JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'état, Université d'Aix-Marseille.
- JOHSUA M.-A. & JOHSUA S. (1987 a). Le fonctionnement didactique de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 8, n° 3, pp. 231-266.
- JOHSUA M.-A. & JOHSUA S. (1987b). Le fonctionnement didactique de l'expérimental dans l'enseignement scientifique. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, vol. 9, n° 1, pp. 5-27.

- JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- KREMER-MARIETTI A. (1982). *Le Positivisme*. Collection «Que sais-je?» n° 2034. Paris, PUF.
- KREMER-MARIETTI A. (1984). Positivisme. In *Encyclopædia Universalis*, pp. 803-806.
- KUHN T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. 1ère éd. 1970. Paris, Flammarion.
- LATOURE B. (1989). *La science en action*. Paris, La Découverte.
- LATOURE B. & WOOLGAR S. (1988). *La vie de laboratoire*. Paris, La Découverte.
- ORLANDI É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, n° 13, pp. 111-132.
- POPPER K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. 1ère éd. 1959. Paris, Payot.
- POPPER K. (1985). *Conjecture et réfutation*. 1ère éd. 1963. Paris, Payot.
- POUSSEUR J.-M. (1988). *Bacon*. Paris, Belin.
- RANCOULE Y. & FAVRE D. (1993). Tentative de repérage épistémologique du discours pédagogique scientifique. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Eds), *Actes des XV<sup>es</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris, Université Paris 7, UF de didactique des disciplines, pp. 613-620.
- RUMELHARD G. (1979). Le processus de dogmatisation. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Actes des 1<sup>es</sup> Journées sur l'Éducation Scientifique*. Paris, CNRS, INRP, Université de Haute-Normandie, pp. 11-28.