

# Expérimenter et comprendre les sciences physiques

D. HUILIER<sup>a,b</sup>, N. LING<sup>c</sup>, A. R.FENEUX<sup>d</sup> & A. FLIELLER<sup>b</sup>

- a. Laboratoire ICUBE, Faculté de Physique & Ingénierie – [huilier@unistra.fr](mailto:huilier@unistra.fr)
- b. Faculté de Physique & Ingénierie Strasbourg – [anne.flieller@unistra.fr](mailto:anne.flieller@unistra.fr)
- c. ESPE de Strasbourg – [nathalie.ling@espe.unistra.fr](mailto:nathalie.ling@espe.unistra.fr), [ronan.feneux@espe.unistra.fr](mailto:ronan.feneux@espe.unistra.fr)

...

## Résumé :

*Cela fait bien plus de dix ans que l'on propose une unité d'enseignement intéressante aux étudiant-e-s de L3 issus de filières différentes scientifiques (MPA, MPC, Sciences & Vie,...) dans le cadre de la préparation aux métiers de l'enseignement à l'ESPE de Strasbourg. La formation est principalement axée sur la méthode hypothético-déductive et en lien étroit avec la « Main à la Pâte ». Basée sur une approche type constructivisme (Perrenoud [1], Astolfi [2]) et l'approche par problème, elle se veut être une pédagogie différenciée qui permet de construire des compétences dès l'école et de mettre en place de nouvelles stratégies d'enseignement et de transmission des connaissances.*

**Mots clefs : pédagogie active, approche/apprentissage par problème, main à la pâte, îlots, didactique des sciences**

## Abstract :

*Since more than ten years now, students, future school teachers, have a course (lectures and practical work) on Inquiry-based learning, constructivist approach and structured "Hands-on/Minds-on" activities. Hypothetico-deductive reasoning and problem-based inquiry are used to solve problems in chemistry and physics, the aim of the differentiated instruction being to help children to acquire scientific skills and to implement news teaching strategies and knowledge transfer.*

**Keywords : problem-based learning, Hands-on, differentiation instruction, islets/group work, pedagogical content knowledge**

## 1 Introduction

Les démarches expérimentales en recherches comme en enseignement, s'appliquant à la physique ou à tout autre domaine scientifique, sont multiples ; chaque enseignant/chercheur s'approprie une façon de travailler, qui ne conviendra pas forcément pour ses collègues. Néanmoins la démarche hypothético-déductive est une méthode expérimentale généralement reconnue comme étant une approche robuste,

qui a fait ses preuves. D'autres dénominations existent, on pourra parler de démarche expérimentale d'investigation, d'apprentissage actif, par découverte, inquiry-based learning.

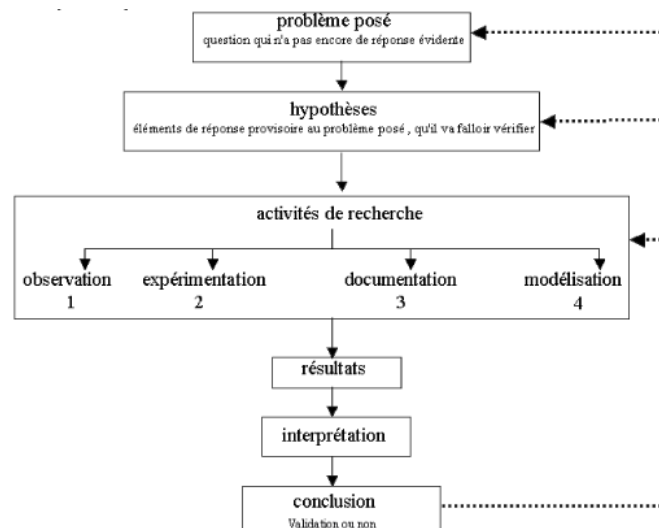
En s'inspirant de « Hands On » aux USA (1992), nos prix Nobel (George Charpak, Pierre-Gilles de Gennes), ainsi que Pierre Léna et Yves Quéré ont introduit dans les années 1996 « La Main à la Pâte » pour rénover l'enseignement des sciences et de la technologie par un apprentissage basé sur le constructivisme et la démarche hypothético-déductive (DHD).

Dans le cadre de la préparation aux métiers de l'enseignement à l'ESPE de Strasbourg, une unité d'enseignement, « **Expérimenter et comprendre les sciences physiques** », a été mise en place il y a presque 15 ans, elle intéresse une promotion de 30 à 40 étudiant-e-s de L3 issus de filières différentes (MPA, MPC, mais essentiellement de Sciences & Vie) qui se destine essentiellement au métier de professeur-e des écoles. Elle prend appui sur la DHD, avec une approche « Hands-on/Brain-on », et le travail expérimental en salle de TP peut se faire en îlots. Ce texte est bien plus complet qu'une ancienne communication (D. Huilier [3]).

## 2 La démarche pédagogique

Les différentes phases de cette méthode d'investigation associant théorie et expérimentation, pour un problème donné (expérience à réaliser, évocation/monstration d'un phénomène, présentation d'un objet technique), et lié à une structure théorique disponible (connaissances, conceptions, modèle) sont :

- L'observation et le questionnement, liés à des représentations initiales
- L'élaboration d'hypothèses pouvant être réfutées ultérieurement
- La définition d'expériences de test des hypothèses
- La formulation de prédictions associées aux expériences de test
- L'expérimentation et validation ou invalidation (réfutation) des hypothèses et prédictions
- L'élaboration d'une théorie à partir de validations robustes



**Démarche d'investigation (source la main à la pâte)**

Elle demande initiative, autonomie, investissement de la part des apprenants/étudiants et elle est chronophage.

L'unité est composée de 2 cours d'introduction à la didactique des sciences (constructivisme, DHD, situation-problème, les dix principes de la main à la pâte), d'un TP de découverte en chimie (pile à

citron, tour de magie) ou en physique (ludion, mirage optique) et de 2 modules de TP dont un de physique (TP de mécanique & TP d'optique), et un de chimie (2 TP) mais qui peut intégrer des éléments de mécanique (exemple dans le cas du diphasique, des mélanges de fluides, ou de fluide-solide/sédimentation...). Ces 4 TP sont préparés à l'avance dans un cahier de sciences comportant une remise à niveau des connaissances, de niveau L2-L3. Des cours intermédiaires de synthèse sont également dispensés pour faire le point.

### 3 La séance de TP : un micro-projet

La thématique du TP est donnée 1 à 2 semaines avant le TP lui-même. En mécanique, elle portera au sens large sur la chute des corps, ceci pouvant inclure les lois de Newton, l'hydrostatique, voire d'autres domaines de la mécanique, dont la mécanique des fluides (force de traînée, vitesse de chute limite, sédimentation de grains de sable, remontée de bulles dans une colonne d'eau, mesure de densité à partir de la poussée d'Archimède, ludion,...). Une liste succincte d'expériences potentielles, de matériel est suggérée.

Le travail préliminaire consiste à réactualiser ses connaissances de la physique ou de la chimie de base dans le domaine donné, à un niveau L3 (recherche bibliographique, utilisation des TICE,...). A élaborer des expériences à réaliser en lien avec un certain nombre de matériel. Il est rédigé dans le cahier d'expériences.

La séance de TP est de 4h. Le matériel mis à disposition est préparé sur des chariots ou paillasses, mais une multitude de matériel supplémentaire est disponible à proximité sur demande. Libre aussi aux étudiants d'amener leur propre matériel, quitte à ce que des expériences aient été réalisées chez eux (exemple confection d'un parachute, plumes, feuilles mortes...). En mécanique, il consiste en un grand nombre d'objets dont des sphères et balles sportives de toutes taille, forme et masse volumique. En physique, on peut fonctionner en îlots, un îlot de mécanique (4 étudiants), idem pour un îlot d'optique en salle noire. De plus, des classeurs contenant des articles scientifiques ou de vulgarisation sont disponibles, de même que des livres scolaires ou universitaires de sciences et de didactique, et des ordinateurs.

Les apprenants puisent dans le matériel et réalisent librement les montages qu'ils ont imaginés, c'est bien le principe de la main à la pâte, et mettent en place la DHD. Le rôle de l'enseignant est celui d'un médiateur, tour à tour observateur, « motivateur » et intervenant peu, sauf difficulté majeure, soit au niveau d'un montage en cours, soit au niveau conceptuel, théorique. Les expériences sont ensuite réalisées, les mesures dépouillées et confrontées aux hypothèses et prédictions. Quitte à reconsidérer les hypothèses, les expériences (exemple: mauvais choix d'une sphère roulant sur une table inclinée permettant de déterminer l'accélération de la pesanteur, expérience de Galilée). L'idée étant de redécouvrir des phénomènes et lois physiques, et de les mettre en équation ou d'en tirer des lois. Une synthèse ultérieure est ensuite à faire dans le cahier d'expériences à la maison.

Mais en plus, il leur est demandé de rédiger des fiches de préparation d'une séance pédagogique pour des enfants d'une classe d'école primaire qui est à intégrer au sein d'une séquence (de 6-7 séances) sur une thématique donnée (chute des corps, mécanique céleste, cycle de l'eau...), thématique qui peut d'ailleurs englober plusieurs domaines des sciences (mécanique et acoustique, mécanique et optique, problèmes d'environnement, mécanique et chimie...). Cette phase est chronophage et pour les étudiants, se préparant au professorat des écoles, et pour l'enseignant, car au moins au début il y a des allers-retours multiples apprenant-médiateur pour optimiser la première fiche de préparation sur le contenu mais également au niveau de la mise en place de la DHD à un niveau scolaire (école primaire). Un cours de synthèse vient boucler chaque module pour faire un bilan constructif sur l'ensemble (connaissances scientifiques effectives et méthodes de transmission de ces connaissances en milieu scolaire, didactique des sciences, lien avec les textes réglementaires et les programmes officiels).

Grâce à ces activités, les capacités tant manuelles et pratiques qu'intellectuelles des étudiants sont mobilisées, ainsi que l'usage de langages scientifiques différents : ils produisent des textes et des schémas, des équations - mathématiques et chimiques-, ils s'expriment à l'oral, notamment pour présenter leurs pistes de recherche, leurs découvertes, leurs raisonnements pendant les séances de TP.

Au total, en terme d'investissement temporel, on peut considérer que chaque TP nécessite environ 8h de travail supplémentaire, soit 32h (pour 4 TP) en dehors du présentiel de 20h de TP et de 8h de cours.

L'évaluation finale porte sur le cahier d'expériences et les fiches de préparation. Les compétences visées sont d'ordre didactique, pédagogique et méthodologique. La maîtrise de la langue française à l'oral et à l'écrit n'est pas en reste. Pour l'étudiant, il s'agit d'être capable d'effectuer une transposition didactique entre les savoirs mentionnés dans les instructions officielles et la réalité de la classe en tenant compte des pré requis des élèves et de leur niveau de compréhension qui correspond à leur développement. Une attention particulière est accordée à la mise en œuvre de la démarche scientifique adaptée aux différents niveaux de l'école primaire : en cycle 2 par exemple, la démarche scientifique réfléchi sera pratiquée avec l'aide du professeur et on ne s'intéressera qu'à quelques moments de la démarche d'investigation, alors qu'en cycle 3, on progressera vers plus de généralisation et d'abstraction en prenant toujours soin de partir du concret et des représentations initiales de l'élève. Il leur a été demandé surtout de s'auto-évaluer par le biais d'un référentiel d'auto-évaluation comportant 5 rubriques et une vingtaine d'items ; on ne donne ici qu'un extrait – la rubrique DHD :

### Extrait du référentiel d'auto-évaluation (Ronan Feneux)

	TP n°
<b>La Démarche Hypothético-Déductive</b>	
Etre capable de <b>formuler une problématique adaptée</b>	
Etre capable de <b>définir des objectifs d'enseignement valides</b>	
Etre capable <b>d'établir une structure théorique détaillée</b>	
Etre capable <b>d'anticiper les hypothèses formulées par les élèves</b>	
Etre capable <b>d'anticiper les expériences test proposées par les élèves</b>	

Cette unité d'enseignement perdure et reste fondamentale si l'on sait que les étudiant-e-s sont ensuite en stage d'un mois au sein d'une école primaire et peuvent mettre en pratique cette technique « in vivo » sous la tutelle d'une responsable de stage.

La plate-forme Moodle et le site web d'un des auteurs permettent aux apprenants d'avoir accès à un grand nombre de documents (en sciences physiques et en sciences de l'éducation) en plus des cours. Ainsi en mécanique, plusieurs cours de mécanique des fluides de niveau L3 ou articles scientifiques (C. Clanet [4]) ou de vulgarisation (R. Moreau & J. Sommeria [5]) sont disponibles mais non téléchargeables et protégés par mot de passe. Elle sert aussi de dépôt des fiches de préparation provisoires puis définitives pour consultation par les médiateurs.

## 4 Difficultés rencontrées

De manière globale, une difficulté majeure initiale est observée, vu les stéréotypes de TP « imposés » aux étudiant-e-s en cycle universitaire. S'installe généralement en début de formation, un phénomène, régulièrement observé, à savoir une certaine perplexité voire un net rejet du dispositif par les étudiant-e-s (et pas forcément les plus faibles) dans un premier temps de la démarche DHD. S'agit-il d'une réaction à la déstabilisation induite par la profonde modification du contrat didactique habituel dans le cadre scolaire et universitaire ? Alors que l'étudiant-e est généralement récompensé-e de son écoute attentive et d'une bonne restitution des connaissances exposées, il-elle se retrouve face à une sorte de néant dont il faut extraire des informations, faire preuve d'initiative et de créativité avec la crainte permanente de ne pas répondre à l'attente supposée des évaluateurs.

L'on connaît depuis longtemps les lacunes de nos étudiants en mathématiques et le faible investissement habituellement constaté dans la préparation des activités expérimentales traditionnelle en Licence, désengagement chronique de l'étudiant.

Deux des auteurs de ce texte en ont très récemment encore fait l'expérience cette année, en assurant ensemble des TP de physique en L1S2 en sciences et vie (optique et électrostatique) et également des TP de physique (optique, mécanique, ultrasons) en L2S3 de licence de physique. Mettre à disposition un polycopié sert-il encore à quelque chose pour les apprenants ? En physique, par exemple, est proposé un tp de mécanique sur les oscillations couplées, constitué de deux disques rotatifs couplés par un fil de torsion, permettant d'étudier les régimes d'oscillation les plus simples (symétrique et antisymétrique) avec des capteurs de position et un système d'acquisition assez performant couplé à un logiciel de traitement des données (avec transformée de Fourier). La préparation peut demander 2 heures de travail préalable pour établir notamment les fréquences propres du système.

*Faut-il tenir pour autant un discours décliniste ?* Sans citer de référence particulière, l'on connaît le point de vue de l'historien de l'éducation Claude Lelièvre et plus encore celui du philosophe, historien des sciences et académicien Michel Serres.

Dans un monde où l'on parle de zapping, le rôle d'un médiateur efficace et empathique consiste aussi à encourager, motiver, rassurer ses apprenants, en mettant lui-même la « main à la pâte » quand il le faut, évidemment cela demandera plus de disponibilité pendant la séance.

## 5 Le TP de mécanique en particulier

On donne à l'étudiant un ensemble de sphères de composition et de taille différentes (balles de sports/ tennis, tennis de table, golf..., billes de verre, d'acier, billes creuses...)



FIG. 1 – Ensemble de balles sportives et de billes diverses

Vient d'abord la notion de chute libre, celle des corps dans le vide. L'expérience [6] de la plume et du marteau (Dave Scott, Appolo XV – 1971) permettra de recentrer le problème.

La compréhension des forces agissant sur un corps en chute dans un fluide (poids, poussée d'Archimède, forces visqueuses, traînée) est ensuite primordiale. Ensuite les notions de vitesse terminale, de temps de relaxation particulaire (temps de réponse dynamique d'une particule dans un fluide donné, caractéristique de l'inertie des particules), de nombre de Reynolds sont autant de points délicats à traiter et investir. Une question fondamentale étant : de quelle hauteur faut-il lâcher simultanément 2 sphères différentes pour constater qu'elles vont toucher le sol à des instants

différents ? Peu d'apprenants se posent cette question. Mais certains lâcheront des balles du 3<sup>ème</sup> étage d'un immeuble et y trouveront des éléments de réponses.

D'autres iront jusqu'à réaliser des expériences de sédimentation de grains de sables, en utilisant plusieurs liquides, et se familiariseront avec la notion de viscosité, du nombre magique de Reynolds, d'autres vont faire rouler des billes d'acier sur un plan incliné (la constante de gravitation  $g$  sera déterminée à 5 % près d'autres étudieront les phases de rebond de balles diverses sur des surfaces différentes (béton, parquet, tapis, sable, coussin !).

Des lacunes certes en mathématiques ! Mais ceci est à présent général même dans les filières des sciences dures. On notera que cette année, le test de mécanique Newtonienne (du point), développé dans le cadre des tests de remédiation, a été intégré au deuxième cours des étudiants PPE pour évaluer le niveau de leurs connaissances et des concepts avant les TP. Le résultat a été extrêmement décevant ; test réalisé en début de cycle, il a permis un recadrage « musclé » des médiateurs. Le but était de leur permettre surtout de remettre en question leurs savoirs et de comprendre que nous allions leur demander un gros effort de préparation et de remise à niveau. Ce qui a généralement réalisé.

Curiosité scientifique, investissement constant, soif de savoir, questionnement, motivation, créativité, autonomie et **apprentissage coopératif**, dialogue empathique avec le médiateur viendront largement compenser ces lacunes. Et surtout la perspective d'exercer un métier passionnant !

## 6 Le rôle des médiateurs

Dans un premier temps, les médiateurs sont amenés à faire découvrir les prémisses de la didactique des sciences et les démarches scientifiques d'investigation. Cela demande aussi de leur part un investissement, en dehors de leurs connaissances en sciences physiques, une formation réflexive constante en sciences de l'éducation. Dans ce secteur, tout avance à vitesse vertigineuse, et en France, nous avons des lacunes à combler.

Après, une disponibilité constante, mais mesurée s'impose, et un relationnel empathique avec les apprenants est de rigueur, si possible proche du relationnel futur d'un professeur des écoles avec ses élèves. Le plus dur peut-être est de leur apprendre à transposer leur savoir à un niveau scolaire, imaginer les représentations initiales des enfants et composer leurs premières fiches de préparation pour une classe. D'autant que cet exercice de style sera leur quotidien. Et ils feront leurs premières armes lors d'un stage en fin de cycle L3.

Leur apprendre aussi à mieux se documenter (M.A. Bertrand Baschwitz [7], J.-M. de Ketele & X. Roegiers [8]) à intégrer des outils numériques, ressources web multiples, les technologies innovantes mais de manière cohérente (M. Lebrun [9]). Dans ce sens, la chimie mais aussi l'optique et la mécanique sont des secteurs privilégiés. Leur apprendre à utiliser efficacement les sites pédagogiques de plus en plus nombreux utilisés par les professeurs des écoles.

Transmettre le savoir mais surtout la passion est primordiale ; ainsi les fluides nous révèlent leur infinie richesse (Guyon et al. [10], de Gennes et al. [11], Quéré [12]). Sachant qu'il s'agit de former des enseignants réflexifs et compétents.

Les préparer au master MEEF, à la vie et à une dimension sociale de leur futur engagement professionnel dans un métier qui sera parfois difficile, dans un contexte d'évolution des systèmes éducatifs et des mutations sociétales accélérées.

## 7 Efficacité et enjeux de cette unité d'enseignement/Conclusion

Si cette UE perdure depuis bien plus de 10 ans, c'est d'une part qu'elle a fait ses preuves, mais également parce qu'elle forme les étudiant-e-s à une technique pédagogique qui leur servira et en stage préliminaire, puis en master où leurs connaissances en didactique des sciences seront renforcées. Et dans leur futur métier de professeur des écoles !

Mais en plus, si l'on pointe la très forte diminution des volumes de formation en sciences pour le 1er degré au cours du master MEEF, cette UE de pré-professionnalisation porte un enjeu fort pour la formation à la polyvalence pour les futur·e·s PE .

Voici le témoignage d'une étudiante : " Cet enseignement nous permet d'entrer dans une démarche scientifique qui était moins abordée par la suite, notamment par manque de temps dans le master MEEF. La pratique inhérente à cette discipline nous permet d'appréhender le schéma réflexif d'un élève face à différentes hypothèses de recherche. De plus, c'est durant les heures consacrées à cette matière que j'ai appris à faire une fiche de préparation, écrit d'anticipation institutionnel obligatoire en master II. "

De plus elle évolue, l'on parle de plus en plus d'activités « Hands-on/Minds-on » (de Silva [13], Wellington & Ireson [14]). Elle intègre DHD, apprentissage par problème, micro-projet et relève de la pédagogie active, ce qui permet d'initier les apprenants à une partie des méthodes pédagogiques existantes, elle est d'ailleurs couplée à une autre unité d'enseignement « Science à l'école ». D'autres techniques comme les classes inversées (Lebrun [15] ) sont introduites dans d'autres cours en L3.

Et naturellement lors de leur professionnalisation en temps que PE, avec l'avantage qu'ils auront été formé à une méthode d'investigation. En ce sens, cette unité est essentielle pour l'apprentissage des sciences au sein de l'école ; la démarche DHD est par ailleurs utilisée dans le secondaire, en Suisse par exemple depuis longtemps pour les travaux pratiques de physique. Et une bonne partie des méthodes pédagogiques innovantes en sciences et technologies ont bien des liens communs.

## Références

- [1] Ph. Perrenoud, Pour ou contre la gravitation universelle ?, Résonance n°3, 2003
- [2] J.-P. Astolfi, : Vers une pédagogie constructiviste, Repères, n°12, 1995.
- [3] Daniel Huilier D'une expérience complexe en L3, revue et corrigée en classes primaires (milieu scolaire) CFM'2011 Besançon
- [4] Ch. Clanet, Sport ballistics, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol 45, pp. 455-478 2015
- [5] R. Moreau, J. Sommeria, Traînée subie par les corps en mouvement, Encyclopédie de l'environnement (2019)
- [6] Feather & Hammer Drop on Moon, [https://youtu.be/5C5\\_dOEyAfk?t=8](https://youtu.be/5C5_dOEyAfk?t=8)
- [7] M.A. Bertrand Baschwitz, Comment se documenter, De Boeck, 2010 (2<sup>ème</sup> édition)
- [8] J.-M. De Ketele, X. Roegiers, Méthodologie du recueil d'informations : fondements des méthodes
- [9] M. Lebrun Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre – Quelle place pour les TICE, De Boeck 2007
- [10] E. Guyon, J.-P. Hulin. & L. Petit, Ce que disent les fluides, Editions Belin, 2005.
- [11] P.-G. de Gennes P.-G., Brochard-Wyart F. & Quéré D., Gouttes, bulles, perles et ondes, Editions Belin, 2002.
- [12] D. Quéré, Qu'est-ce qu'une goutte d'eau ?, Editions Petites pommes du savoir, 2003.
- [13] E. de Silva, Cases on research-based Teaching in Science education, IGI Global, 2014
- [14] J. Wellington & G. Science Learning, Science teaching, Routledge, 2012
- [15] M. Lebrun Classes inversées : Enseigner et apprendre à l'endroit ! , Canopé, 2016