

**LE CONCEPT DE PRESSION ATMOSPHERIQUE : ELEMENTS DES CHOIX QUI
PRESIDENT A L'ELABORATION D'UN OUTIL D'APPRENTISSAGE FONDE SUR
L'HISTOIRE DES SCIENCES**

Cécile de Hosson, Bénédicte Caillarec

Université Paris Diderot-Paris 7
Laboratoire de didactique André Revuz, département de physique
4 rue Elsa Morante, bâtiment Condorcet, courrier 7086
75205 Paris 13
cecile.dehosson@univ-paris-diderot.fr
bcaillarec@gmail.com

Mots-clés : Histoire des sciences, Pression, Reconstruction didactique

Résumé. L'apprentissage des principes macroscopiques de la mécanique des fluides se heurte aux idées communes des élèves et des étudiants à propos du vide et de la notion de pression. Notre recherche montre que l'explication correcte de « l'expérience du vide en haut d'une montagne » réalisée à la demande de Blaise Pascal en 1648, demeure difficilement accessible, y compris pour des étudiants ayant reçu un enseignement d'hydrostatique au cours de leur cursus universitaire. Ces derniers peinent à considérer le dispositif de façon globale en y incluant l'air extérieur. Ce résultat nous conduit à examiner la genèse historique de la notion de pression atmosphérique afin d'en extraire des éléments susceptibles de s'intégrer dans une séquence d'enseignement. Celle-ci procède d'une réorganisation contrainte par des exigences spécifiques l'écologie didactique qui diffère de l'ordre chronologique historique.

1. Cadre de la recherche et définition d'une problématique

Depuis le milieu des années 90, la transposition didactique se propose d'étudier à la fois les processus qui président à la définition des savoirs à enseigner, notamment le passage entre le savoir produit par la sphère savante et celui produit à l'Institution scolaire, et la distance « obligatoire » qui sépare ces deux formes de savoir (Chevallard, 1994). D'après les recherches qui prennent pour cadre celui de la transposition didactique, l'étude et la prise en compte des contraintes propres au monde scolaire (plus particulièrement, celui de la classe de physique) fondent la spécificité du projet de construction didactique, et par là-même, la spécificité de l'organisation des savoirs scolaires. Ceux-ci apparaissent le plus souvent selon un ordre qui a peu à voir avec l'ordre historique. Autrement dit, la genèse historique ne résiste pas au procès qui conduit le savoir du monde savant vers le monde scolaire puisque celui-ci est « inévitablement finalisé dans un cadre scolaire » (Joshua & Dupin, 2003, p. 195).

L'enseignement du concept de pression en France est exemplaire de cette irréductibilité, tant son organisation apparaît hétéromorphe du développement historique. Cette disjonction entre genèse scolaire et genèse historique n'empêche pas les plaidoyers en faveur d'une plus grande insertion de l'histoire des sciences dans l'enseignement. Ceux-ci sont nombreux, argumentés et largement soutenus par la recherche en didactique. L'enseignement scientifique semble donc poursuivre deux objectifs difficilement conciliables en apparence : d'une part l'appropriation par l'élève d'un ensemble de savoirs dont l'ordonnancement, régi par des contraintes scolaires, se trouve très éloigné de celui proposé par l'anamnèse historique, et d'autre part la présentation d'une organisation plus conforme de la science telle qu'elle s'est faite. La mise en fonctionnement de ces

deux objectifs a selon nous deux conséquences. La première, c'est qu'elle conduit souvent à faire de l'histoire des sciences « la cerise sur le gâteau de l'enseignement scientifique » (Guedj & Dusseau, 1999, p. 996), un complément à un programme qui se suffit à lui-même, un « plus » souvent considéré comme chronophage (Maurines *et al.*, 2009). La seconde, c'est que l'histoire des sciences du cours de sciences (appelons-là histoire des sciences scolaire), va se donner pour objectif, au moins dans le cadre institutionnel (celui défini par les programmes scolaires français), de permettre aux élèves de se construire une image de la science plus conforme à celle du monde savant. L'histoire des sciences comme vecteur d'apprentissage (outil d'appropriation d'un savoir donné) apparaît moins plébiscité, ce rôle étant assumé par les programmes eux-mêmes. Or, nous pensons qu'il est possible de réconcilier les deux approches (cognitive et culturelle), ce qui revient à reprendre la question soulevée il y a quelques années par Martinand : « Pour espérer réaliser le vœu de réintroduire l'histoire dans l'enseignement, il faut reprendre les problèmes à la base. Le problème fondamental doit sans doute être formulé ainsi : quelles sont les conditions d'articulation entre une approche du sens historique et une initiation aux connaissances opératoire ? » (Martinand, 1993, p. 95).

2. Méthodologie

Nous cherchons à définir les conditions et les choix qui vont présider à la conception d'une séquence d'enseignement fécondée par l'histoire se donnant pour objectif d'accompagner l'apprentissage d'un savoir donné (ici, la notion de pression atmosphérique). Les travaux menés dans cette perspective indiquent que la stratégie consistant à implémenter un problème historique au sein du cours de sciences apparaît souvent fructueuse (Merle, 2002 ; Guedj, 2005 ; de Hosson & Kaminski, 2007). Encore faut-il que celui-ci fasse sens dans la classe pour susciter l'émergence de propositions d'explications. Le choix du problème à extraire hors de l'écologie historique va donc se voir assujéti aux contraintes qui fondent l'écologie didactique (difficultés spécifiques au savoir à enseigner, idées préalables des élèves, temps didactique...). Si nous avons choisi de nous intéresser à l'enseignement du concept de pression, c'est que les programmes scolaires français n'ont conservé aucune trace de la démarche historique consistant à étudier de manière unifiée l'air et de l'eau en recourant à la notion intégratrice de « fluide ». En outre, les discussions autour de l'expérience du tube barométrique de Torricelli pourtant fondatrices de la construction de la pression atmosphérique, et plus largement de celle de pression ne sont nullement exploitées. Nous cherchons ici à donner à un sens historique à l'enseignement de la pression. Notre travail vise, dans un premier temps, à spécifier les difficultés liées à la compréhension d'une expérience historiquement féconde afin, dans un second temps, d'identifier un problème à dévoluer aux élèves, puis à sélectionner au sein la sphère historique des idées productives en termes de résolution du problème afin de structurer un itinéraire cognitif approprié.

3. Enquête didactique : comment les étudiants comprennent-ils l'expérience de Blaise Pascal au Puy-de-Dôme ?

Dans une lettre adressée à Pascal le 22 septembre 1648, Florin Périer, beau-frère de Blaise Pascal, mène le récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs réalisée lors de l'ascension du Puy de Dôme en Auvergne (France) et conçue en vue d'éprouver l'hypothèse de l'existence de la pesanteur de l'air, forme primitive du concept de pression atmosphérique. L'expérience consiste à élever en haut d'une montagne (ici, le Puy-de-Dôme) le dispositif barométrique créé quelques années plus tôt par Torricelli (voir figure 1) afin de montrer que la hauteur de mercure dans le tube est plus faible au sommet qu'au pied de la montagne, l'action de l'air atmosphérique en altitude étant elle-même plus faible (Pascal, 1963a).

L'invention de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs par Pascal et l'interprétation de l'expérience de Torricelli reposent sur l'établissement d'un lien causal entre l'action de l'air extérieur et la suspension du mercure dans le tube de verre. Ce lien implique une connaissance des propriétés de l'air, notamment son caractère pesant. C'est l'établissement de ce lien causal par les

étudiants que nous interrogeons ici. Plus spécifiquement, nous nous demandons si des étudiants ayant reçu un enseignement de statique des fluides perçoivent le dispositif torricellien comme un baromètre.



Figure 1 : Expérience de Torricelli dite « expérience donnant à voir le vide ». On remplit un tube de mercure, on obture son extrémité puis on le retourne, verticalement, sur une cuve remplie du même liquide. Une fois le tube en place - son ouverture plongée dans le mercure de la cuve - on retire ce qui l'obture et l'on constate que le mercure baisse dans le tube pour se stabiliser à une hauteur de 76 cm.

Afin de répondre à cette question, nous avons élaboré un questionnaire papier-crayon structuré autour du récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs. Dans la première question les étudiants sont invités à expliquer l'expérience de Torricelli. Cette demande d'explication est complétée, dans une deuxième question, par une question relative à la nature de l'espace libéré au-dessus du mercure du tube (espace torricellien). On demande enfin aux étudiants d'interpréter le résultat de l'expérience réalisée au sommet du Puy de Dôme (troisième question). Nous avons proposé notre questionnaire à 128 étudiants répartis sur trois universités françaises différentes, tous inscrits en troisième année de licence pluridisciplinaire scientifique (CITE 5, degré tertiaire 1) au cours des années universitaires 2006-2007 et 2007-2008. Les réponses au questionnaire sont analysées de manière quasi-inductive selon une méthodologie proche de la grounded theory (Strauss & Corbin, 1990). A la lecture des réponses obtenues nous avons pu dégager les rubriques d'analyse suivantes (voir figure 2) :

- Réponses qui établissent explicitement un lien causal entre l'action de l'air au niveau de la surface du mercure de la cuve et la descente (ou la suspension) partielle du mercure dans le tube.
- Réponses qui laissent apparaître un raisonnement s'appuyant sur une sous-partie du dispositif torricellien. Dans ces réponses, la colonne de mercure apparaît comme un élément central du raisonnement de l'étudiant. Sa suspension et sa variation sont associées explicitement à l'action d'une autre sous-partie du système (qui peut être soit l'espace torricellien, soit le mercure de la cuve) ou à la variation d'un paramètre expérimental.
- Réponses qui se réduisent à l'utilisation du mot « pression », celui-ci ayant valeur, pour l'étudiant, d'explication, mais qui ne renseignent pas le chercheur sur le processus de raisonnement sous-jacent

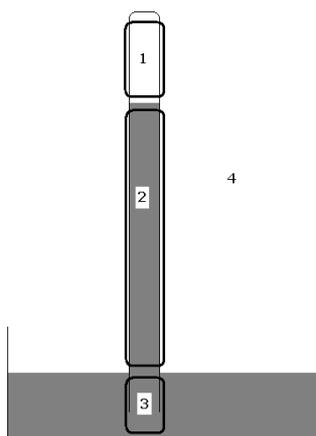


Figure 2 : Sous-parties du dispositif torricellien utilisées par certains étudiants dans leurs explications de l'expérience barométrique, après enseignement de statique des fluides. Sous-partie n°1 : espace torricellien (Torr), sous-partie n°2 : mercure du tube (Hg tube), sous-partie n°3 : mercure de la cuve (Hg cuve), sous partie n°4 : Atmosphère (Air).

4. Résultats

La grande expérience de l'équilibre des liqueurs dont notre questionnaire est inspiré est l'aboutissement d'un cheminement conceptuel historiquement conçu pour éprouver l'hypothèse de la pesanteur de la masse de l'air. Cette hypothèse ne semble pas opérationnelle chez des étudiants ayant reçu un enseignement d'hydrostatique au cours de leur scolarité, y compris à l'université. De fait, seul un quart des étudiants que nous avons interrogés fournit une réponse associant l'action de l'air extérieur et la suspension (ou la variation) du mercure dans le tube aux trois questions posées. Tous les étudiants qui établissent un lien explicite entre l'action de l'air et la suspension du mercure affirment que l'espace torricellien ne contient aucune matière (25 sur 128). Mais la réciproque n'est pas vraie. Ainsi, tous les étudiants qui répondent « du vide » ou « rien » à la deuxième question (62 sur 128) n'expliquent pas la suspension du mercure par l'action de l'air extérieur. Pour 37 d'entre eux, la raison de cette suspension est à rechercher soit dans l'action du mercure de la cuve, soit dans l'action d'un paramètre tel que la pression ou la température. Une partie non-négligeable des réponses aux questions 1 et 3 témoigne de raisonnements locaux qui, pour certains, s'appuient sur l'établissement de liens entre deux sous-parties intrinsèques au dispositif, alors même que celui-ci nécessiterait plutôt une approche systémique globale, ou pour le moins, une approche associant un élément extérieur au dispositif (l'air) et le dispositif lui-même.

Les raisonnements mis en œuvre dans les réponses obtenues révèlent des difficultés liées au concept de pression et demeurent empreints de conceptions bien connues des chercheurs. Ainsi, le fait que plus des trois-quarts des étudiants interrogés ne prennent pas explicitement en compte l'action de l'air extérieur pour expliquer la suspension de la colonne de mercure puis sa diminution semble indiquer que ceux-ci peinent à admettre l'existence même de la pression atmosphérique. Ce résultat est à rapprocher de ceux obtenus par Séré il y a plus de 20 ans avec des élèves des classes secondaires. Pour la plupart d'entre eux, la pression atmosphérique n'est reconnue que lorsque l'air est comprimé ou lorsqu'il est en mouvement (Séré, 1986). En outre, certaines études concernant les idées des élèves à propos de la pression atmosphérique ont mis à jour une tendance à considérer que cette dernière augmente avec l'altitude (Tytler, 1998). Nous retrouvons une tendance analogue chez 10% des étudiants concernés par notre étude. Il semble donc que l'expérience du Puy-de-Dôme ne permette pas à elle-seule d'approcher la cause de la suspension du mercure dans le dispositif barométrique torricellien.

Historiquement, Pascal appuie la construction de la notion de pression atmosphérique sur une étude approfondie du comportement des solides immergés dans l'eau. Partant du caractère pesant de l'air, il transpose ses conclusions hydrostatiques concernant les solides immergés dans l'eau aux solides immergés dans l'air, et crée la notion intégratrice de « liqueur » (aujourd'hui, nous utiliserions le terme de fluide). Il postule ainsi que, d'une façon générale, les liqueurs (air et eau) « pèsent suivant leur hauteur » et « agissent contre les corps qui y sont en les pressant par tous les côtés » (Pascal, 1963b). L'expérience du Puy-de-Dôme puis celle du « vide dans le vide » réalisée par Robert Boyle en 1660 et consistant à expurger l'air présent autour du dispositif torricellien, sont créées en vue de valider ces hypothèses.

5. Conséquences pour l'enseignement

L'architecture de la séquence que nous proposons s'inspire du « modèle d'incorporation de l'histoire des sciences » de Monk et Osborne (1997). Ce modèle s'organise en six étapes : la première consiste à présenter aux élèves un problème à résoudre. Dans la seconde étape, les élèves proposent diverses explications ou solutions en vue de résoudre le problème posé. La troisième étape est celle de l'introduction de l'histoire des sciences ; les théories ayant eu cours dans l'histoire en relation avec le phénomène étudié sont présentées aux élèves. Cette présentation peut prendre plusieurs formes : extrait de textes historiques, récits historiographiques, documents iconographiques, etc. Elle a pour but d'inciter les élèves à exprimer des points de vue divergents. L'élaboration (ou la présentation) de tests expérimentaux permet de déterminer le point de vue le plus valide. Cette étape peut s'appuyer sur des expériences historiquement fécondes. L'avant-dernière étape consiste en l'étude du point de vue scientifique. Enfin, la dernière étape permet une discussion sur les apprentissages implicitement réalisés grâce à l'introduction de la composante historique. La correspondance entre les étapes du modèle de Monk et Osborne et celles de notre séquence sont présentées ci-dessous :

- Etape 1 : Présentation du dispositif torricellien. On demande aux élèves d'expliquer la raison pour laquelle le mercure est suspendu dans le tube et de préciser ce que contient l'espace libéré au-dessus du mercure du tube.
- Etape 2 : Mise à jour des idées des élèves. On s'attend à voir s'exprimer des raisonnements locaux faisant intervenir des sous-parties du dispositif. La vacuité de l'espace torricellien ne fera vraisemblablement pas consensus parmi les élèves.
- Etape 3 : Etude historique. Présentation aux élèves de la polémique entre Pascal et L'abbé Noël.
- Etape 4 : Mise au point de tests expérimentaux. Présentation des expériences de Pascal et de Boyle.
- Etape 5 : Présentation du point de vue scientifique. Etude des propriétés immergeantes de l'air et de l'eau.
- Etape 6 : Evaluation. Etude de la question de la limitation des pompes aspirantes / Retour sur la question du vide.

La présentation conjointe des expériences de Pascal et de Boyle doivent permettre l'établissement d'un lien entre la variation du milieu extérieur et la variation de la hauteur du mercure dans le tube. C'est avec elles que nous comptons élargir le raisonnement des élèves en les amenant à inclure dans leur raisonnement l'action de l'air extérieur (ce qui, a priori, ne devrait pas être le cas en première approche). Il s'agit ensuite d'expliquer cette action en revenant sur la matérialité de l'air (et notamment son caractère pesant) ainsi que ses propriétés hydrostatiques. C'est ici que le concept intégrateur de fluide intervient, en ce qu'il permet de rapprocher l'eau et l'air du point de vue de leur action sur les solides immergés en leur sein. L'ouverture sur le problème de la limitation des pompes aspirantes (à l'origine de la création de l'expérience barométrique) devrait permettre de vérifier la portée du système explicatif ainsi construit par les élèves.

La séquence telle que nous l'avons conçue procède d'une réorganisation contrainte par des exigences spécifiques l'écologie didactique qui diffère de l'ordre chronologique historique. Cette

démarche est finalement assez courante dans la recherche mais elle apparaît rarement explicitée. Pourtant, les éléments historiques retenus par le didacticien, et la façon dont celui-ci choisit de les organiser peuvent conduire à des reconstructions différentes de celles proposées par les historiens des sciences. Les motivations étant de part et d'autre spécifiques, elles induisent des lectures particulières dont la légitimité est garantie, non par une éventuelle proximité avec un parcours idéal, mais par la « fécondité » (en termes d'apprentissage) du programme qui les sous-tend (Berthelot 2002). C'est cette légitimité que nous chercherons à évaluer lors d'une étude à venir.

6. Références et bibliographie

- Berthelot J. M. (2002). Pour un programme sociologique non réductionniste en étude des sciences. *Revue européenne des sciences sociales*, 15 (124), 233-252.
- Chevallard Y. (1994), *Les processus de transposition didactique et leur théorisation*, 135- 180, In Arzac, G. et al. (ed.) *La transposition didactique à l'épreuve*, Grenoble : La Pensée sauvage.
- de Hosson C. & Kaminski W. (2007). Historical Controversy as an Educational Tool: Evaluating elements of a teaching-learning sequence conducted with the text "Dialogue on the Ways that Vision Operates". *International Journal of Science Education*, 29 (5), 617-642.
- Guedj M. & Dusseau J.M. (1999). A propos d'une formation des enseignants de sciences physiques à l'épistémologie et à l'histoire des sciences. *Bulletin de l'union des physiciens*, 815, 996-
- Guedj M. (2005). Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques en classe de seconde des lycées français, *Didaskalia*, 26, 75-95.
- Joshua & Dupin (2003). *Initiation à la didactique des sciences et des mathématiques*, PUF.
- Martinand J.L. (1993). Histoire des sciences et didactique de la physique et de la chimie, quelles relations ? *Didaskalia*, 2, 95-
- Maurines L., Beaufils D., & Chapuis C. (2009). Travailler l'image de la nature des sciences et de l'activité scientifique grâce à l'histoire des sciences, *Actes des 6e Journées scientifiques de l'ARDIST*, Nantes, 14-16 octobre 2009.
- Merle H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre, *Didaskalia*, 20, 113-132.
- Monk M. & Osborne J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81 (4), 405- 424.
- Pascal B. (1963a). Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs (1648). *Œuvres complètes*. Paris : Seuil.
- Pascal B. (1963b). Traité de l'équilibre des liqueurs. *Œuvres complètes*. Paris : Seuil.
- Séré M.G. (1986). (1986). A study of some frameworks used by pupils aged 11-13 years in the interpretation of air pressure. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 299-309.
- Strauss A.L. & Corbin J. (1990). *Basics of Qualitative Research. Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park : Sage.
- Tytler R.T. (1998). Children's conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20 (8), 929-958.