

Point de vue sur l'évaluation des méthodes d'enseignement par la prise en compte des spécificités des savoirs

Hichem DAHMOUCHE
Université libre de Bruxelles

Résumé

Cet article met en lumière l'intérêt de prendre en compte les spécificités épistémiques des savoirs lors de l'évaluation des méthodes d'enseignement de ces savoirs. Il s'appuie sur l'importance de la dimension épistémologique des didactiques et sur l'histoire des sciences lorsqu'elle est problématisée, pour fonder le questionnement sur l'évaluation. L'approche propose d'accorder une priorité axiologique aux savoirs eux-mêmes dans l'évaluation de l'enseignement. Ce point de vue, qui redéfinit le cadre de l'évaluation didactique, met en avant la valeur des savoirs en accordant une priorité à ces derniers lors de l'évaluation de l'efficacité des méthodes d'enseignement. Pour cela, je développe une argumentation critique qui conduit à des distinctions conceptuelles. La première est la distinction entre information et compétence pour envisager deux natures de savoir transmis à l'école. La deuxième est la distinction entre but et méthode pour montrer la nécessité de prendre en compte la visée d'enseignement d'une méthode lors de son évaluation. L'exemple mis à l'épreuve concerne l'enseignement de la nature discontinue de la matière.

Mots-clés : compétence, but, méthode, savoir, discontinu, matière, Dalton (J.), Avogadro (A.)

Introduction

Toute action éducative vise à produire un effet sur celui qui est éduqué et est entreprise dans l'espoir d'un certain succès en raison de sa dimension projective (Astolfi, 2017). Évaluer cette efficacité paraît aller de soi autant que de changer d'approche si elle s'avère inefficace.

Des recherches de diverses natures ont été menées pour identifier les pratiques d'enseignement les plus efficaces pour les apprentissages des élèves, tels que les travaux de John Hattie (2009). Ses conclusions sur l'efficacité semblent centrées sur ce que les enseignants doivent faire (par exemple être « directifs » ou « passer d'une idée unique à une multitude d'idées » (p. 238-239) – j'en propose une traduction dans l'annexe 1) et cela n'a pas de rapport avec l'idée que les savoirs ne sont pas tous de même nature.

Autre exemple avec les méta-analyses d'Alfieri *et al.* (2011) et de Furtak *et al.* (2012) qui ont comparé les méthodes qualifiées de « traditionnelles » ou « transmissives », car dirigées par l'enseignant (qui pilote étroitement la succession des tâches), à celles qui ne sont pas dirigées par l'enseignant mais par les élèves (qui ont la position ascendante). Or, en distribuant de nombreuses études en deux catégories si clivantes, Alfieri *et al.* et Furtak *et al.* prennent le risque de rassembler dans une même catégorie des méthodes qui n'ont que peu de points communs et de rassembler des curriculums très différents entre eux (de Jong *et al.*, 2023). À chaque fois, le nombre d'études convoqué est impressionnant, ce qui donne une force d'autorité dans la discussion sur l'efficacité des méthodes d'enseignement. La vigilance méthodologique se concentrera sur la scientificité des démarches (protocole, méthodologie, validité des résultats), ainsi que sur les multiples précautions prises ou non (pour l'exemple : Bergeron, 2016). Ces critiques, bien que nécessaires, ne suffisent pas puisqu'il est aussi possible d'interroger le bien-fondé des postulats de départ qui sous-tendent la recherche concernée (pour l'exemple : de Jong *et al.*, 2023). C'est précisément là que réside la difficulté. Dans la doxa pédagogique, il est couramment postulé que la position hiérarchique des acteurs (par exemple, qui pilote la séquence didactique ou qui détient le pouvoir sur la succession des tâches) n'entretient aucune relation nécessaire avec la nature spécifique des savoirs en jeu et le curriculum (pour l'exemple : Lazonder et Harmsen, 2016). C'est cette indépendance supposée entre les positions didactiques et l'exigence épistémologique des contenus que nous souhaitons interroger en considérant que les « contenus » enseignés à l'école ne sont pas tous de même nature. Si le principe de la spécificité des savoirs peut paraître acquis dans le champ de la didactique des sciences francophone où il est un postulat fondamental (pour l'exemple : Orange et Orange Ravachol, 2013), il est cependant essentiel de le vérifier sur le terrain. La nécessité de cette vigilance est d'ailleurs illustrée par l'instabilité observée dans la culture didactique des formateurs : une étude a montré qu'en Belgique francophone, la culture didactique des formateurs en didactique des sciences (« MA » dans l'extrait ci-dessous) semble instable (Daro *et al.*, 2018, p. 90) :

Il ressort des enquêtes que la formation des MA pose question : soit ils s'estiment mal formés à la didactique des sciences, soit ils n'ont pas vraiment conscience de ce qu'est la didactique, soit encore ils ne mesurent pas l'enjeu de faire entrer les écrits (la culture) des recherches en didactique des sciences, ni dans la formation de leurs étudiants, ni dans la leur.

C'est précisément en réaction à cette instabilité observée dans la culture didactique des acteurs de la formation – et au risque qu'elle engendre de négliger les enjeux épistémologiques – que le point de vue défendu dans cet article est celui de l'importance de relier l'évaluation d'une méthode d'enseignement à la nature des savoirs en jeu. Dans cet article, j'interrogerai d'abord la nature des « contenus » à enseigner, entre information, savoir et compétence. Puis deux enseignements pour un même objectif d'apprentissage officiel seront présentés et comparés en tant que méthodes d'enseignement. Cette confrontation permettra d'établir une distinction entre le savoir-information et le savoir-compétence effectivement construits par chaque méthode. L'examen de cette visée d'enseignement (le but) servira ainsi de socle à l'argumentation critique produite, laquelle démontrera que la validité d'une méthode est subordonnée à l'exigence de la spécificité des savoirs qu'elle prétend transmettre. Je répondrai aux objections anticipées aux propos soutenus lors des précédents développements. Je conclurai sur l'importance de remettre en question le choix d'une méthode pour un but donné. L'étude qui est proposée n'est donc pas empirique (au sens strict) mais d'interrogation conceptuelle. La méthode mobilisée est celle de l'argumentation critique – soit l'examen et la mise en tension des concepts et des pratiques communément acceptés, en vue d'établir de nouvelles distinctions analytiques –, qui est une méthode critique en sciences de l'éducation, didactiques comprises (Astolfi, 2017 ; Dahmouche, 2023, 2025a, 2025b ; Kahn, 2010 ; Orange Ravachol et Orange, 2014 ; Rey, 1996 ; Viennot, 2011 ; etc.). Je procéderai à la comparaison de deux approches d'un même objectif d'apprentissage visé par l'institution. Des précisions conceptuelles permettront de clarifier des idées reçues, à l'articulation entre les préoccupations des didacticiens et les soucis des praticiens. Dès lors, le propos développé ne sera pas limité à la seule didactique des sciences.

Pour les besoins des développements à venir, il est nécessaire d'établir une distinction opératoire entre la méthode et le but visé, distinction qui est souvent confondue dans le discours courant. Je désignerai la « méthode » comme l'ensemble des moyens et dispositifs mis en œuvre par l'enseignant pour enseigner. Le terme « but » désignera la nature du savoir disciplinaire ou de la compétence qui est ultimement attendue et évaluée. Il représente l'objectif didactique tel que défini par l'institution ou l'évaluateur.

1. Sur la nature des « contenus » à enseigner

Ma démarche part du constat qu'il n'est pas aisé de considérer d'emblée que la spécificité des connaissances implique une spécificité des enseignements. Cette « non-évidence », fréquemment observée dans les pratiques et les débats sur les méthodes, est précisément ce que je propose d'interroger. En effet, de nombreux acteurs¹ peuvent témoigner d'expériences où ils ont appris et/ou enseigné selon différentes méthodes et dont certaines leur ont été plus profitables que d'autres, tout en affirmant que d'autres méthodes conviendraient mieux à d'autres personnes, selon une conception quantitative de la différence (Kahn, 2010). Il devient alors aisé de dire que chacun a ses préférences et son style d'apprentissage (Ravestein, 2019) et c'est pour cela que la doxa enseignante – soit une évidence non questionnée par les praticiens (Fondeville, 2018) – propose de « varier les activités »² (Crinon et Ferone, 2018 ; Kahn et Belsack, 2018 ; Dahmouche, 2023, 2025c). Toujours selon cette doxa enseignante mise en évidence par les recherches citées ci-dessus, la nature même des difficultés résiderait donc dans la relation entre l'élève qui a ses spécificités d'apprentissage et l'enseignant qui aurait à y répondre (Kahn *et al.*, 2024), mais pas du côté du savoir et ses difficultés propres.

S'il est plus facile de se rabattre sur des spécificités de l'élève plutôt que des spécificités du savoir, c'est aussi parce que les termes du débat ne sont pas partagés. Dans l'enseignement belge francophone, le décret Missions (Communauté française de Belgique, 1997) a eu une influence certaine dans la mesure où il est un texte institutionnel de référence. Il a imposé certains termes qui n'ont ensuite plus été discutés en formation. Voici ce qui est dit au sujet de la notion de compétence : « aptitude à mettre en œuvre un ensemble organisé de savoirs, de savoir-faire et d'attitudes permettant d'accomplir un certain nombre de tâches » (p. 3) ; la définition est similaire dans le récent Code de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2019/2025), avec « attitudes » remplacé par « savoir-être » (p. 5). Cette définition est à mettre en contraste avec les termes utilisés dans des écrits de recherche en didactique des sciences ou en éducation plus largement. Voici ce que disent à ce sujet Schneeberger *et al.* (2021, p. 239), en référence à Reboul (1980/2010) :

1 Dans la suite de notre développement, j'utiliserai ce terme pour désigner les chercheurs, mais aussi les formateurs, les enseignants et même n'importe quel citoyen, dans la mesure où il a eu une expérience de l'éducation en tant qu'usager et qu'il a souvent un avis sur l'école.

2 Par « varier les activités », la doxa enseignante entend l'alternance des modalités de travail (discussion collective, manipulation, recherche, etc.) et, surtout, la différenciation pédagogique au service de la réussite de tous. Cette variation se traduit par la volonté de simplifier les tâches ou de proposer des aides/exercices différents selon le niveau des élèves, tout en privilégiant l'activité et l'émergence du savoir par les élèves eux-mêmes.

s'y connaître en circulation sanguine, ce n'est pas seulement savoir dessiner ou décrire l'appareil circulatoire et le trajet du sang, c'est avant tout comprendre comment est dépassée la contradiction entre échanges et circuit clos, réaliser comment est possible (et avantageux) une circulation où les organes ayant des fonctions différentes (muscles, intestin, reins...) sont en « parallèle », etc. [...] Penser par compétence en SVT, c'est donc considérer que les savoirs à faire acquérir aux élèves sont des savoirs précis qui leur donnent la possibilité d'une analyse critique de systèmes et de modèles.

Il y a donc un contraste entre le sens donné au terme « savoir » par les didacticiens et par le décret Missions (Communauté française de Belgique, 1997) ou le Code de l'enseignement (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2019/2025). Dans l'extrait précédent, les didacticiens situent l'attitude ou savoir-être en la fonctionnalité critique des savoirs modélisateurs. Le décret Missions (Communauté française de Belgique, 1997) est centré sur l'idée de tâche, sans que l'attitude ou savoir-être ne soit explicitement référé aux exigences épistémologiques de fonctionnalité critique. C'est ce deuxième sens qui a été popularisé sur le terrain belge francophone.

Schneeberger *et al.* (2021, p. 239) précisent alors leur conception du « savoir » en le distinguant du concept d'information :

si les savoirs ne sont vus que comme des informations (celles que l'on trouve sur Internet) ou des textes à apprendre, alors l'APC³ est là pour nous rappeler que cela ne suffit pas. Mais que cela ne suffise pas ne veut pas dire qu'il faut ajouter quelque chose aux savoirs (capacités ou compétences, selon les moments ou les modes) et surtout se complaire dans de pseudo capacités générales : savoir observer, émettre des hypothèses, raisonner... Tous autant que nous sommes, les élèves compris, nous sommes capables d'observer finement dans des domaines que nous maîtrisons (le professeur de SVT, avec un microscope, un élève sur un jeu vidéo ; les deux peut-être, un match de foot) et incapables dans ceux pour lesquels nous n'avons aucune connaissance.

Or, le sens couramment donné au terme « savoir » du décret Missions (Communauté française de Belgique, 1997) est celui qui est pris pour « information » (Rey, 1996, 2005, 2014 ; Carette et Rey, 2010)⁴ ; c'est une donnée, une déclaration, *quelque chose* qui est tenu pour vrai. Ce n'est pas le sens que les didacticiens donnent au terme « savoir », qui semble en première approche plus de l'ordre de la compétence, même dans la définition du décret Missions (Communauté française de Belgique, 1997) ou d'autres auteurs encore (Programme de formation de l'école québécoise, 2001 ; Roegiers, 2000 ; Perrenoud, 1997 ; etc.).

3 Comprendre l'approche par compétences.

4 Astolfi (1992) distingue « information » et « connaissance », même si les deux ont un rapport étroit et en quelque sorte décalé avec le « savoir ».

Ce que les travaux de Bernard Rey (1996, 2014 ; Carette et Rey, 2010) nous disent d'intéressant ici, c'est que la compétence n'est pas une entité directement objectivable et statique. Elle ne peut pas non plus être renvoyée uniquement à des procédures automatisables s'appliquant à toutes les situations. Selon Rey, quelqu'un est compétent lorsqu'il sélectionne les procédures (déjà acquises) selon la situation rencontrée dont il a pu repérer les traits pertinents. Ce faisant, la compétence est un processus plutôt qu'un objet statique, et un processus de problématisation du réel selon une conception inspirée par Bachelard (1938, p. 14) : « Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. » La compétence demande donc une rupture avec l'attitude d'obéissance que demanderait la répétition indiscriminée d'une procédure, d'un algorithme, car la compétence demande un certain « regard ». S'agissant du savoir scolaire, la compétence est également en rupture avec la pensée ordinaire. Les exemples ne manqueraient pas dans toutes les disciplines : « dans la tâche d'histoire consacrée à la justice sous l'Ancien Régime, interpréter la tâche au moyen du savoir [...] doit pouvoir éviter aux élèves de s'égarer dans des considérations sur l'aspect terrifiant de la torture. » (Rey et Carette, 2019, p. 175-176). Ce sont des nécessités et des impossibilités qui organisent la compétence (Rey, 2005).

Tableau 1. *Distinction entre savoir-information et savoir-compétence*

	Savoir-information	Savoir-compétence
Nature	Information, donnée, déclaration, énoncé ponctuel, proposition	Capacité à problématiser selon les exigences d'une discipline
Mode d'acquisition privilégié	Mémorisation, répétition	Rupture avec la pensée commune
Mobilisation	Application directe de procédures	Sélection pertinente selon la situation
Évaluation	Restitution, application	Résolution de tâches complexes par l'identification des traits pertinents

Cela étant dit, le rapprochement entre savoir et compétence demanderait quelques précautions importantes. D'une part, avec l'approche par compétences et les tâches complexes⁵ qui sont proposées aux élèves, le risque est important de réifier les savoirs : ils deviennent alors de simples outils mobilisables pour résoudre des situations-problèmes, sans que leur genèse historique et leur signification épistémologique soient véritablement travaillées. Par exemple, dans le cas de la nature discontinue de

⁵ Une tâche complexe est une situation dont l'acquisition de la compétence permet la résolution (Carette et Rey, 2010 ; Rey, 2014).

la matière qui sera développé ci-après, une approche centrée sur les tâches complexes pourrait se contenter de faire manipuler aux élèves des situations où ils appliquent le modèle particulière de la matière, sans jamais interroger le problème scientifique qui nécessiterait la construction de ce modèle (les rapports de volumes dans la synthèse de l'eau, les lois de combinaison, etc.). D'autre part, cette dérive méthodologique transforme l'approche par compétences en une simple technique pédagogique consistant à confronter systématiquement les élèves à des situations complexes, souvent puisées dans la « vie courante ». Cette réduction, que Rey (2014) critique explicitement, fait perdre de vue l'enjeu central de la compétence tel qu'il la définit : la capacité à problématiser le réel en mobilisant des savoirs pour identifier les traits pertinents d'une situation donnée du point de vue disciplinaire. Dans cette dérive, les tâches complexes deviennent une fin en soi plutôt qu'un moyen de développer une véritable maîtrise disciplinaire. Enfin, ce glissement risque de faire obstacle à la rupture avec la pensée commune que nécessite l'acquisition des savoirs scientifiques (Orange Ravachol et Orange, 2014).

En d'autres termes, ces développements invitent à distinguer deux notions. D'un côté, les informations sont entendues comme directement accessibles. De l'autre, le savoir s'avère moins disponible. Ce dernier témoigne en effet d'un acquis plus profond, qui relève de la maîtrise d'une discipline – autrement dit, du fait de *s'y connaître* – au prix d'une rupture avec la pensée commune (Schneeberger *et al.*, 2021 ; Orange, 2012 ; Orange Ravachol et Orange, 2014). Lorsque l'on maîtrise un savoir, chaque tâche qui s'y rapporte doit pouvoir montrer la maîtrise des informations et des procédures propres à cette discipline et/ou résoudre des problèmes parce que l'on a identifié les traits pertinents dans la situation, d'un point de vue disciplinaire. Celui qui *s'y connaît en* cette discipline en possède une représentation d'un certain intérêt. Il sait par exemple quand une théorie peut être convoquée, c'est-à-dire quand elle peut être une réponse pertinente et valide pour un problème donné.

Nous pouvons maintenant travailler avec une première distinction entre le terme de savoir-information et celui de savoir-compétence, sur base de la distinction de Schneeberger *et al.* (2021), lorsqu'il s'agit d'évaluer une méthode d'enseignement. Cette distinction permet de dialectiser la méthode et le but poursuivi par cette méthode (Philippe, 2010). Si cette dialectique peut sembler aller de soi, je pense qu'elle mériterait tout de même d'être discutée ici.

2. Étude de cas : la nature discontinue de la matière

Lorsqu'un élève est compétent dans une discipline, ou même lorsqu'un scientifique a acquis une certaine maîtrise d'une discipline, c'est qu'il a acquis un corpus d'informations et de procédures judicieusement structuré de sorte qu'il *s'y connaît* dans cette discipline (Reboul, 1980 ; Schneeberger *et al.*, 2021) pour en parler et pouvoir dire ce qui est possible et ce qui l'est moins (Orange, 2012), notamment en rapport avec le domaine de validité des savoirs de cette discipline ; il est capable d'assurer une

vigilance sur ses propres démarches et de repérer les incohérences qu'elles comportent (Viennot, 2011) ; il connaît les dépendances fonctionnelles⁶ d'un problème-type (Viennot, 1992) ; etc. D'autres caractéristiques pourraient être évoquées et toutes ne doivent pas pour autant être acquises pour dire qu'une personne *s'y connaît* dans cette discipline. L'exhaustivité n'est pas ici visée, mais l'acquisition de certains de ces traits paraît être un objectif légitime pour l'enseignement des sciences. Viennot (Viennot, 2020 ; Viennot et Décamp, 2019 ; Viennot, 2011 ; etc.) a montré en physique que cela n'avait rien d'automatique durant la scolarité ou même la formation des scientifiques. Par exemple, Viennot (2011) montre que le développement classique fait intervenir le théorème du centre d'inertie dans l'explication de la pression atmosphérique s'exerçant sur une surface au sol alors qu'il n'y a pas lieu de le faire ; c'est le principe « il faut bien que le théorème du centre d'inertie soit satisfait » qui intervient dans le raisonnement, témoignant d'une connaissance certaine de la physique mais pas du domaine de validité entourant ce théorème. Si cette vigilance sur ses propres démarches et les éventuelles incohérences en rapport avec le domaine de validité des savoirs ne sont pas automatiquement acquises à mesure que l'élève progresse dans les savoirs scientifiques, il est envisageable de dire, au moins provisoirement, que certaines méthodes (telles que j'emploie le terme dans ce texte) pourraient davantage permettre à cette vigilance de s'exercer. Pour illustrer ce point de vue, j'aimerais maintenant proposer un exemple : deux méthodes pour enseigner la nature discontinue de la matière.

2.1. Méthode A : l'approche analogique pour le savoir-information

J'ai été formé à l'enseignement secondaire inférieur (grades 7 à 9) en physique, chimie et biologie. Dans les années 2010, dans ma formation initiale et dans mon observation du terrain, la nature discontinue de la matière était abordée en grade 7 selon le programme de « Formation scientifique » (Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2000/2013) qui visait alors les points suivants (p. 37) :

La matière est formée de corpuscules trop petits pour être visibles, même au microscope.

Ces corpuscules sont appelés molécules.

Les molécules sont séparées par des espaces intermoléculaires.

⁶ On peut dire que l'on commence à comprendre véritablement un domaine, de la physique en particulier, quand on maîtrise un tant soit peu les dépendances fonctionnelles. C'est notamment un élément majeur du contrôle des résultats que l'on obtient à la fin d'un calcul. Par exemple, un étudiant qui s'intéresse à la trajectoire, de rayon de courbure R , d'une particule de masse m , charge q et vitesse v , dans un champ d'induction magnétique B , peut avoir écrit par inadvertance la relation $R = qB/mv$. Revenir dessus sous l'angle des dépendances fonctionnelles, observer que le rayon de courbure ainsi trouvé diminue avec la masse et la vitesse de la particule, qu'il augmente avec les termes charge et induction qui sont liés à la cause de la déviation, peut l'amener à conclure que ce résultat est inexact (la relation correcte est $R = mv/qB$). (Viennot, 1992, p. 128)

Précisons que la nature discontinue de la matière n'avait pas encore été abordée avec les élèves.

Cet enseignement passait presque systématiquement par la manipulation suivante. Celle-ci était proposée dans une banque de leçons largement diffusée (Collectif, 2008). L'annexe 2 reprend le contenu des pages 9 et 19 ; la description que je fais ci-dessous correspond à des mises en œuvre inspirées par ces propositions.

Sans qu'il y ait véritablement une phase de questionnement préalable quelconque, l'enseignant ou un élève devait verser 50 mL de méthanol et 50 mL d'eau dans un récipient à condition qu'il renseigne assez clairement la valeur de 100 mL dans ses graduations. Il était éventuellement demandé aux élèves d'anticiper le volume du mélange, mais aucune question ne venait justifier cette manipulation. Le résultat, souvent inattendu, est que le mélange des deux solvants n'atteint pas la graduation 100 mL, le ménisque étant à environ 95 mL. Pour « bien faire », les praticiens et les formateurs conseillaient de laisser la possibilité aux élèves d'expliquer l'observation et d'imaginer un protocole permettant de mettre à l'épreuve leur explication. En guise de réponse finale, une autre manipulation venait compléter la première : verser 50 mL de grains de riz dans 50 mL de pois ; là encore, le mélange des deux ne remplit pas le contenant jusqu'à la graduation des 100 mL attendue. Le raisonnement visé auprès des élèves est de nature analogique : le volume total des deux solutions, une fois mélangées, est inférieur à la somme de deux volumes pris séparément, ceci devant s'expliquer par des vides présents entre des corpuscules, comme doit le suggérer visuellement la manipulation du mélange des grains de riz et des pois.

Les tentatives d'explication des élèves échouaient et les deux manipulations présentées ci-dessus devaient tenir lieu de preuve de l'existence de vides entre les particules. Bien entendu, plusieurs raisons permettent d'avancer que l'« expérience » n'a en réalité rien prouvé de la nature discontinue de la matière. D'abord, pourquoi les vides entre les molécules d'eau ne pourraient être occupés que par des molécules de méthanol, et non pas des molécules d'eau elles-mêmes ? En d'autres termes, pourquoi 50 mL d'eau ajoutés à 50 autres mL d'eau ne donnent pas également 95 mL d'eau ? Cette limite du raisonnement était connue et nous évitions de la mentionner ou de la produire devant les élèves. Il en va de même pour les grains de riz et de pois, il nous fallait des grains de calibres différents pour que les plus petits occupent les espaces laissés par les plus grands.

Ajoutons que cette manipulation peut être de nature à renforcer les difficultés des élèves à considérer la différence ontologique entre le corpuscule et le corps (Laugier et Dumon, 2003 ; Bachelard, 1951). En guise de complément, nous pensions pourtant « bien faire » en traitant, dans cette leçon, de l'histoire des sciences, en prêtant au modèle de Dalton une paternité à la Grèce antique, chez Démocrite et Lucrèce, ce qui est pourtant discutable (Bachelard, 1933, 1951).

2.2. Méthode B : l'approche historique problématisée pour le savoir-compétence

Une autre méthode possible serait de poser les problèmes historiques comme des données d'un problème dont les élèves vont devoir s'emparer, même brièvement (de Hosson, 2011). Par exemple, le problème de la synthèse de l'eau qui demandait deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène ; trois volumes de réactifs sont nécessaires et pourtant, ce ne sont pas trois volumes d'eau qui sont produits. Avec le modèle atomique, Dalton, Avogadro ou même Berzelius (Benaude-Vincent, 1989) permettent une interprétation et ajoutent une condition de possibilité : un poids spécifique à chaque élément. L'ensemble permet d'activer la loi des proportions définies. Cette loi stipule que des rapports de masses suivant lesquels deux ou plusieurs éléments se combinent sont fixes et non susceptibles de variation continue. Et puisqu'il y a des rapports de masses bien précis pour la combinaison des espèces⁷, Dalton a toutes les raisons d'envisager que ces combinaisons se font par unités discrètes, base de sa version de l'atomisme. Ainsi, malgré les grandes précautions de l'époque pour se limiter à la seule énonciation des faits, rien que les faits, le succès de Dalton est basé sur les mêmes qualités que celles que Bachelard attribue à Mendeleïev : ces scientifiques vont « des principes aux phénomènes, de l'intuition à l'expérimentation, à l'inverse de l'idéal positiviste » (Bachelard, 1933, p. 75), là où tous opéraient le chemin inverse. Dans la même idée, et donc dans l'idée de la rupture que les élèves doivent faire, on pourrait certainement aussi souligner qu'il n'est pas possible de « voir » les atomes, au sens optique du terme, notamment du fait de la nature même de ce qu'ils sont. Cela était d'autant plus vrai à l'époque de Dalton, où la notion de molécule avait une valeur souvent instrumentale, notamment basée sur la mesure et les possibilités numériques que cela offre ; sa réalité matérielle a ainsi été contestée jusqu'au début du xx^e siècle. Petit gain au passage pour la classe, mais historiquement significatif vu la difficulté que les scientifiques avaient à travailler avec les corps simples (Dagognet, 2002) : la distinction entre corps et éléments peut être mise au travail. Finalement, dans cette approche, ce n'est pas l'interprétation d'un volume du mélange méthanol-eau inférieur à la somme des volumes de ces solvants qui intéressera la classe, même si l'explication des vides entre les particules pourrait tout de même permettre l'interprétation (à ce niveau de la scolarité).

⁷ Comme je l'explique dans cet article, l'état du savoir à ce moment de l'histoire ne permet pas de clairement se prononcer sur la nature des « espèces » en jeu. Le travail avec les corps reste central, mais c'est ce contexte qui va permettre l'émergence des concepts de molécule et d'atome.

Tableau 2. Comparaison de deux méthodes possibles pour enseigner la nature discontinue de la matière

	Méthode analogique	Méthode historique
Dispositif	Mélange eau-méthanol et riz-pois	Problème de la synthèse de l'eau
Type de raisonnement	Analogie visuelle	Problématisation scientifique
Savoir visé	Information : il existe des vides entre les molécules	Compétence : mettre en jeu un modèle particulière en tant que nécessité
Questions organisatrices : ◆ Quelle est ma visée d'enseignement : faire retenir une information ? Construire une compréhension d'un problème scientifique fondateur ? ◆ Quel type de problème scientifique la notion résout-elle ? ◆ Mon évaluation vérifie-t-elle la restitution ou la capacité à mobiliser le modèle particulière dans des situations nouvelles ? Comment mon évaluation distingue-t-elle celui qui « sait que » de celui qui « s'y connaît en » ? ◆ Les élèves peuvent-ils, après mon enseignement, identifier les situations où ce savoir est pertinent ?		

Ainsi, pour ces deux méthodes – le raisonnement analogique et le raisonnement historique –, qu'elles soient menées consciemment ou non pour des objectifs d'apprentissages différents, il serait possible de dire qu'elles permettent l'atteinte d'objectifs louables : le scientifique « Dalton » peut être évoqué ; les élèves peuvent être mis en raisonnement, en particulier sur la nature discontinue de la matière ; les élèves peuvent être mis face à l'idée de « modèle » en sciences ; etc. Mais alors que ces deux méthodes semblent viser le même but, ce que la classe pourrait apprendre n'est pas du même ordre. S'il ne s'agit que de *savoir que* « la matière est formée de corpuscules trop petits pour être visibles » appelés molécules et séparés par des espaces, le risque est de construire l'idée de « petits corps ». Le raisonnement historique n'est alors pas nécessaire. En revanche, s'il s'agit de *s'y connaître* sur la nature discontinue de la matière et les différences ontologiques entre les niveaux macroscopique et microscopique, d'en construire un savoir-compétence, alors le raisonnement analogique posera de sérieux problèmes, notamment sur le plan épistémologique. Pour les deux méthodes, la notion de molécule introduite comme information pourrait être la même, c'est-à-dire *savoir que* « la matière est formée de corpuscules trop petits pour être visibles » appelés molécules et séparés par des espaces. Cependant, la méthode analogique ne garantit pas d'en faire un savoir-compétence, c'est-à-dire d'intégrer la notion de molécule dans un corpus le rendant opérant comme une pratique de ce savoir permettant de penser la matière en rapport

avec les problèmes des scientifiques. Ainsi, comment envisager que les volumes des gaz qui forment l'eau sont au rapport de trois volumes (deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène) pour deux volumes de vapeur d'eau, alors même que la matière se conserve et qu'à un même volume de gaz doit correspondre une masse donnée, indépendamment de la nature de l'espèce qui forme le gaz ? Autre gain au passage : comprendre que les problèmes qui occupent les scientifiques ne sont pas si souvent des problèmes pragmatiques, mais pour l'essentiel des problèmes qui visent à décrire, prévoir, expliquer, comprendre, etc. le réel (Orange, 2012 ; Orange Ravachol, 2012 ; Doussot *et al.*, 2022 ; etc.). L'occasion est donc donnée de rompre avec une image des sciences qui les renvoie aux problèmes de la vie courante et qui est d'ailleurs compatible avec une idée de l'éducation selon laquelle il faut partir de problèmes du quotidien, si possible le quotidien des élèves (Dahmouche, 2023, 2025b).

3. Analyse critique des objections anticipées

Nous le voyons, le choix d'une méthode est lié au but épistémique ; entre un savoir-information et un savoir-compétence. Dans ce point de vue, la comparaison des deux méthodes démarre, de fait, sur une divergence de but, alors que d'un point de vue curriculaire, les objectifs d'apprentissage devraient être les mêmes. Or, si le lecteur accorde que la méthode historique a un intérêt, il pourrait aussi identifier les difficultés qu'elle posera.

D'abord, la contribution de Dalton qui m'intéresse ici est celle de l'atome et non pas de la molécule. Cela est vrai, mais cela a moins d'importance qu'il n'y paraît, si toutefois il s'agit bien d'enseigner la nature discontinue de la matière à des élèves qui entrent seulement dans ce domaine scientifique. En effet, historiquement, la distinction n'était pas si claire. La progression conceptuelle de la molécule à l'atome ne s'est pas faite progressivement et de manière lisse, comme on le présente aux élèves après coup. Mieux encore, l'on peut mettre en évidence la controverse qui existait précisément parce que la distinction n'avait pas immédiatement été envisagée entre atome et molécule d'un corps simple. D'ailleurs, c'est une occasion supplémentaire de montrer à quel problème répond cette distinction conceptuelle :

Selon l'hypothèse de Dalton, la formation de l'oxyde d'azote, puisqu'elle se fait à volume constant, exige que le nombre d'atomes d'oxygène et d'azote par unité de volume avant l'union soit la moitié de celui, pour le même volume, des atomes combinés d'hydrogène et d'azote. Cette difficulté, insurmontable avant la distinction entre l'atome et la molécule d'un corps simple, installe un malentendu de quelques années, qu'écarte Berzelius vers 1819 lorsqu'il exploite conjointement l'hypothèse atomique de Dalton et la loi sur les volumes de Gay-Lussac pour déterminer un nouveau système de poids atomiques (Bensaude-Vincent et Stengers, 1993, p. 154-155).

L'on retrouverait une réflexion encore antérieure et analogue chez Avogadro (1811, p. 60-61), mais qui est passée plutôt inaperçue d'après Bensaude-Vincent et Stengers (1993, p. 158-159 ; l'annexe 3 propose l'extrait étendu) :

Lorsqu'un gaz se combine avec deux ou plusieurs fois son volume d'un autre gaz, le composé qui en résulte, s'il est gazeux, ne pourroit avoir qu'un volume égal au premier de ces gaz. Or cela n'a pas lieu en général dans le fait. Par exemple, le volume de l'eau supposée gazeuse est, comme M. Gay-Lussac l'a fait voir, double de celui du gaz oxygène qui y entre, ou, ce qui revient au même, égal à celui de l'hydrogène, au lieu d'être égal à celui de l'oxygène ; mais il se présente assez naturellement un moyen d'expliquer les faits de ce genre conformément à notre hypothèse : c'est de supposer que les molécules constitutantes d'un gaz simple quelconque [...] résultent d'un certain nombre de ces molécules réunies en une seule.

Avogadro (1811) tente de concilier plusieurs données : égalité des volumes de gaz différents devant traduire une égalité du nombre de molécules ; la masse d'une molécule composée doit être la somme des masses des « molécules élémentaires » ; combinaison de plusieurs éléments selon des rapports de masse fixes ; etc. La façon fructueuse de surmonter le problème est d'envisager que les molécules sont formées elles-mêmes de parties, celles qui sont nommées « molécules élémentaires ».

L'objection qui découle immédiatement est celle de la faisabilité en grade 7 de cette méthode historique. C'est une objection évidemment légitime. Cependant, notre propos ne prétend pas proposer une meilleure méthode pour le grade 7 à ce qui se faisait habituellement par raisonnement analogique. Ces développements visent plutôt à montrer que le choix entre ces deux méthodes impose de considérer les savoirs en jeu, car ils sont profondément différents. C'est le but même de l'enseignement qui se transforme lorsque l'on passe du raisonnement analogique eau-méthanol et grains de riz-pois au raisonnement historique proposé, car le changement de méthode modifie ce qui est en jeu, en visant non plus un savoir-information mais un savoir-compétence. De ce point de vue, la comparaison des deux méthodes indépendamment du savoir en jeu n'a donc pas de sens.

Une autre objection que j'aimerais présenter est celle qui porte sur la nature même de l'école. La citation suivante décrit la difficulté de travailler avec les élèves les problèmes qui ont fondé les savoirs de référence :

Les problèmes qui sont à la source de la construction du savoir sont souvent difficiles à exposer aux élèves, parce que, eux aussi, exigeraient pour leur être accessibles, qu'ils connaissent l'état de la science qui les a précédés, les débats qui y avaient lieu, les difficultés d'explication qu'on y éprouvait. Comme les élèves n'ont évidemment pas ces connaissances, l'exposé du processus de problématisation qui a conduit à tel secteur de la science est compromis. Mais dès lors que les problèmes auxquels les savoirs répondent par leur résultat disparaissent, c'est aussi tout l'effort de construction des explications et des preuves qui est amputé.

Le savoir est présenté dans ses résultats et non pas dans le mouvement d'interrogations et dans la pratique scientifique qui l'a vu naître : on n'a plus que des énoncés. (Carette et Rey, 2010, p. 138-139)

Mais cette difficulté de travailler avec les élèves les problèmes qui ont fondé les savoirs de référence est en tension avec la raison d'être de l'école : être un lieu volontairement hors des urgences de la vie, permettant la progression dans les apprentissages et permettant l'erreur – choses pas ou moins permises dans la vie ; s'il y a une école, c'est bien parce que la vie n'est pas une école (Reboul, 1980/2010). Et comme il ne s'agit pas de faire comme à l'extérieur de l'école et donc de redécouvrir le savoir tel qu'il a été produit par les scientifiques, la transposition didactique va nécessairement être à l'œuvre (Chevallard, 1991). Le problème qui est soulevé ici n'est pas un problème de simplification du savoir pour qu'il soit rendu accessible aux élèves, comme cette notion a parfois pu être vulgarisée. Là encore, la langue nous trompe puisqu'entre le savoir du scientifique et le savoir scolaire, il ne s'agit plus du même savoir, même s'il est désigné par le même terme. En d'autres termes, l'école porte intrinsèquement cette tension entre la formalisation du savoir, qui le déconnecte de ses conditions de production, et la fonctionnalité de ce savoir, fondée par sa pertinence épistémologique et culturelle (Lhoste et Schneeberger, 2018).

Cette tension est d'autant plus marquée que des sociologues ont montré qu'une partie des élèves a une pratique des savoirs qui vise à se mettre en règle avec l'institution ; il s'agit pour eux davantage de faire ce qui est attendu par l'enseignant au niveau superficiel de la tâche plutôt que d'entrer dans les problèmes qui leur sont proposés du point de vue conceptuel (Charlot *et al.*, 1992 ; Rey *et al.*, 2012 ; Bonnéry, 2007). Ceux-ci font un « usage pragmatique » du savoir au lieu d'en faire un « usage interne » à la discipline (Carette et Rey, 2010), donc en rapport avec le problème inhérent au savoir lui-même et qui l'a fondé. Même s'il faut le concéder, cette tension fonctionne à deux sens : il n'est pas établi que dans chaque classe et pour chaque leçon ne soient présentés que des problèmes demandant l'acquisition d'un savoir-compétence. Lorsque c'est un savoir-information qui est systématiquement visé, cela n'encourage-t-il pas une posture de réponse aux attentes de l'institution ?

Conclusion

Le point de vue proposé ici n'est pas un plaidoyer pour la méthode historique en remplacement des autres méthodes, y compris la méthode analogique. L'on trouverait des avantages à chaque méthode d'enseignement, même si les avantages ne concernent pas toujours les acquisitions des élèves. De ce point de vue, j'ai voulu montrer que l'efficacité d'une méthode d'enseignement ne peut se concevoir comme une efficacité dans l'absolu (Barallobres, 2016 ; Charalambous *et al.*, 2019 ; de Jong *et al.*, 2023 ; Lazonder et Harmsen, 2016), sans rapport avec la nature de ce qui est enseigné (Dunlosky *et al.*, 2013 ; Star, 2005), thèse qui pourrait être permise par la

lecture de certains travaux (Alfieri *et al.*, 2011 ; Furtak *et al.*, 2012 ; Hattie, 2009). Avant d'envisager l'évaluation d'une méthode ou même de discuter de ce qui peut être considéré ou non comme relevant d'un même dispositif, il conviendrait d'exiger que toute évaluation précise (ou explicite) d'abord le but d'enseignement poursuivi. Une perspective didactique norme nécessairement ce but par les savoirs dont la méthode évaluée tente la transmission. Elle rappelle la valeur des savoirs en donnant une position première à ceux-ci dans l'évaluation de l'efficacité des méthodes. Il importe donc de juger de cette efficacité au regard de l'épaisseur épistémologique des savoirs réellement en jeu ou non, c'est-à-dire, au minimum, de leur fonctionnalité par le caractère de textualité (Rey, 2003, 2014)⁸, et non de leur simple conformité à l'institution. Il ne suffit donc pas de vérifier si deux méthodes annoncent enseigner un même savoir – par exemple par l'emploi d'un même terme du curriculum – pour qu'elles enseignent effectivement ce même savoir.

Il paraît important de remettre en question ce qui, dans une partie de la littérature, est tenu pour une évidence. C'est précisément cette mise *hors question* qui me semble permettre les déplacements entre buts et méthodes. Ces dernières ne sont pas interchangeables pour un même but d'enseignement, et symétriquement tous les buts d'enseignement ne sont pas de même nature, même lorsqu'ils sont désignés par un même terme, une même formule algébrique, un même attendu curriculaire, etc. En se précipitant vers les solutions (Bachelard, 1938) d'enseignement, c'est-à-dire le savoir à enseigner autant que la solution que constitue un enseignement donné, l'on oublie trop vite le problème : sur quel problème scientifique le savoir scientifique se fonde-t-il ? À quels problèmes éducatifs la solution d'enseignement tente-t-elle de répondre (Dahmouche, 2022, 2023, 2025b) ? Un tel point de vue peut intéresser les praticiens en ce qu'il les encouragerait à juger de manière critique les demandes institutionnelles et à ne pas considérer tous les « contenus » à enseigner comme allant de soi, malgré la succession des réformes qui changent pourtant fréquemment les « contenus » à enseigner.

Bibliographie

- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. et Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1-18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Astolfi, J.-P. (1992). *L'école pour apprendre*. ESF.
- Astolfi, J.-P. (2017). *La saveur des savoirs* (4^e éd.). ESF.

⁸ L'élève doit accéder à l'idée qu'un mot ou un énoncé n'a pas besoin, pour s'éclairer, de référer à une situation, mais peut prendre sens par son rapport aux autres mots et énoncés du même texte. La compétence exige l'accès à la textualité. (Rey, 2014, p. 69)

- Avogadro, A. (1811). Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons. *Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle*, 73, 58-79. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/29681#page/9/mode/1up>
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin.
- Bachelard, G. (1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Presses universitaires de France.
- Barallobres, G. (2016). De légendes pédagogiques à légendes psychologiques : analyse des critiques de N. Baillargeon et didactique des mathématiques. *McGill Journal of Education*, 51(2), 917-934. <https://doi.org/10.7202/1038610ar>
- Bensaude-Vincent, B. (1989). Mendeleïev : histoire d'une découverte. Dans M. Serres (dir.), *Éléments d'histoire des sciences* (p. 447-467). Bordas Cultures.
- Bensaude-Vincent, B. et Stengers, I. (1993). *Histoire de la chimie*. La Découverte.
- Bergeron, P.-J. (2016). Comment faire de la pseudoscience avec des données réelles : une critique des arguments statistiques de John Hattie dans *Visible Learning* par un statisticien. *McGill Journal of Education*, 51(2), 935-946. <https://doi.org/10.7202/1038611ar>
- Bonnéry, S. (2007). *Comprendre l'échec scolaire*. La Dispute.
- Carette, V. et Rey, B. (2010). *Savoir enseigner dans le secondaire*. De Boeck.
- Charalambous, C. Y., Kyriakides, E., Kyriakides, L. et Tsangaridou, N. (2019). Are teachers consistently effective across subject matters? Revisiting the issue of differential teacher effectiveness. *School Effectiveness and School Improvement*, 30(4), 353-379. <https://doi.org/10.1080/09243453.2019.1618877>
- Charlot, B., Bautier, É. et Rochex, J.-Y. (1992). *École et savoir dans les banlieues... et ailleurs*. Armand Colin.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. La pensée sauvage.
- Collectif. (2008). *1 + 1 = ? Document du professeur*. Centre d'Autoformation et de Formation continuée de Tihange.
- Communauté française de Belgique. (1997). Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre. *Moniteur belge*. <https://gallilex.cfwb.be/textes-normatifs/21557>
- Crinon, J. et Ferone, G. (2018). Savoirs et conceptions professionnelles des enseignants. *Éducation & Formation*, 310, 85-96. <https://revueeducationformation.be/index.php?revue=30&page=3>

- Dagognet, F. (2002). *Tableaux et langages de la chimie. Essai sur la représentation*. Champ Vallon.
- Dahmouche, H. (2022). Re-problématiser l'activité d'enseignement pour mieux la comprendre. *Recherches en didactiques*, 33, 109-127. <https://shs.cairn.info/revue-recherches-en-didactiques-2022-1-page-109?lang=fr>
- Dahmouche, H. (2023). *Entrée dans le métier et renoncements des nouveaux enseignants de sciences de la nature en FWB. Approche sociodidactique*. [Université libre de Bruxelles]. <http://hdl.handle.net/2013/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/362638>
- Dahmouche, H. (2025a). Restituer les résultats d'une recherche aux participants : un levier ou une impasse pour le questionnement didactique ? *Éducation et socialisation – Les cahiers du CERFEE*, 76. <https://doi.org/10.4000/148mt>
- Dahmouche, H. (2025b). L'obstacle de la pureté. *Questions Vives*, 43. <https://doi.org/10.4000/160sm>
- Dahmouche, H. (2025c). How the concept of ambivalence derived from the french-speaking framework helps assess teachings. A case study on teaching Mendelian theory of inheritance. *Social Sciences & Humanities Open*, 11, 101477. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101477>
- Daro, S., Graftiau, M.-C., Stouvenakers, N. et Hindryckx, M.-N. (2018). Quelle intégration des écrits de la recherche en didactique des sciences dans la formation des enseignants en Belgique francophone ? *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, 17, 73-104. <https://journals.openedition.org/rdst/1699>
- De Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K. et Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk about evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>
- Doussot, S., Hersant, M., Lhoste, Y. et Orange Ravachol, D. (dir.). (2022). *Le cadre de l'apprentissage par problématisation*. Presses universitaires de Rennes.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J. et Willingham, D. T. (2013). Improving Students' Learning With Effective Learning Techniques: Promising Directions From Cognitive and Educational Psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4-58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
- Fédération Wallonie-Bruxelles (2019/2025). Code de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire. *Moniteur belge*. <https://gallilex.cfwb.be/textes-normatifs/49466>

- Fondeville, B. (2018). Genèse et fonctions des doxas pédagogiques. *Éducation & Formation*, 310, 15-24. <https://revueeducationformation.be/index.php?revue=30&page=3>
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. et Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: a meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3102/0034654312457206>
- Gouvernement du Québec. (2001). *Programme de formation de l'école québécoise : éducation préscolaire, enseignement primaire*. Ministère de l'Éducation.
- Hattie, J. A. C. (2009). *Visible Learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hosson, C. de (2011). *L'histoire des sciences : un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique* (Habilitation à diriger des recherches). Université Paris Diderot-Paris 7.
- Kahn, S. (2010). *Pédagogie différenciée*. De Boeck.
- Kahn, S. et Belsack, E. (2018). Pédagogie différenciée et doxa : quand l'arbre cache la forêt. *Éducation & Formation*, 310, 85-96. <https://revueeducationformation.be/index.php?revue=30&page=3>
- Kahn, S., Chanoine, C., Dahmouche, H., Talhaoui, A. et Roland, E. (2024). L'enseignement de la pédagogie différenciée dans les formations initiales d'enseignants en Belgique francophone. *Éducation et formation*, 323, 182-194. <http://revueeducationformation.be/index.php?revue=43&page=3>
- Laugier, A. et Dumon, A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, 22, 69-97. https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2003_num_22_1_1146
- Lazonder, A. W. et Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681-718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Lhoste, Y. et Schneeberger, P. (2018). Points de vue des acteurs de la formation des enseignants de SVT sur le développement professionnel des professeurs débutants. *Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, 17, 21-48. <https://journals.openedition.org/rdst/1648>
- Ministère de la Fédération Wallonie-Bruxelles. (2000/2013). *Programme d'études provisoire. Initiation scientifique. Premier degré commun. Enseignement secondaire ordinaire de plein exercice*.

- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. De Boeck.
- Orange, C. et Orange Ravachol, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61. <https://doi.org/10.4000/ree.7934>
- Orange Ravachol, D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre : entre phénomènes et événements*. Presses universitaires de Rennes.
- Orange Ravachol, D. et Orange, C. (2014). Compétences et savoirs en sciences. Compétences et pratiques des savoirs en sciences de la nature. *Éducation & Formation*, 302, 71-82. <https://revueeducationformation.be/index.php?revue=20&page=3>
- Perrenoud, P. (1997). *Construire des compétences dès l'école*. ESF.
- Philippe, J. (2010). *Fabriquer le savoir enseigné*. De Boeck.
- Ravestein, J. (2019). *Les causes de l'échec scolaire évaluées par les enseignants*. Academia-L'Harmattan.
- Reboul, O. (1980/2010). *Qu'est-ce qu'apprendre ? Pour une philosophie de l'enseignement*. Presses universitaires de France.
- Rey, B. (1996). *Les compétences transversales en question*. ESF.
- Rey, B. (2003). Diffusion des savoirs et textualité. *Recherche & formation*, 40, 43-57. https://www.persee.fr/doc/refor_0988-1824_2002_num_40_1_1758
- Rey, B. (2005). Peut-on enseigner la problématisation ? *Recherche & formation*, 48, 91-105. https://www.persee.fr/doc/refor_0988-1824_2005_num_48_1_2065
- Rey, B. (2014). *La notion de compétence en éducation et formation*. De Boeck.
- Rey, B. et Carette, V. (2019). *Enseignement et apprentissage dans le secondaire : un état des connaissances et des problèmes*. Academia-L'Harmattan.
- Rey, B., Carette, V., Defrance, A. et Kahn, S. (2003/2012). *Les compétences à l'école* (3^e éd.). De Boeck.
- Roegiers, X. (2000). *Une pédagogie de l'intégration*. De Boeck.
- Schneeberger, P., Orange, C., Orange-Ravachol, D. et Lhoste, Y. (2021). *Précis de didactique des SVT pour enseigner au collège et au lycée*. Presses universitaires de Bordeaux.
- Star, J. R. (2005). Reconceptualizing Procedural Knowledge. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36(5), 404-411. <http://www.jstor.org/stable/30034943>

- Viennot, L. (1992). Raisonnement à plusieurs variables : tendances de la pensée commune. *Aster*, 14, 127-141. https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1992_num_14_1_990
- Viennot, L. (2011). *En physique pour comprendre*. EDP Sciences.
- Viennot, L. (2020). Développements conceptuel et critique en physique : à la recherche de cohérence. Dans I. Kermen (dir.), *Diversité des approches en didactique des sciences et des technologies* (p. 231-242). Artois Presses Université.
- Viennot, L. et Décamp, N. (2019). *L'apprentissage de la critique*. EDP Sciences.

Annexes

Annexe 1. Traduction personnelle des conclusions présentées dans le chapitre 11 sur l'efficacité, selon Hattie (2009, p. 238-239)

1. Les enseignants sont parmi les influences les plus puissantes dans l'apprentissage.
2. Les enseignants doivent être directifs, influents, attentionnés et activement engagés dans la passion de l'enseignement et de l'apprentissage.
3. Les enseignants doivent être informés de ce que chaque élève pense et sait, pour construire un sens et des expériences significatives à la lumière de ces connaissances, et avoir une connaissance et une compréhension approfondies de leur contenu pour fournir une rétroaction significative et appropriée de sorte que chaque élève évolue progressivement entre les niveaux du curriculum.
4. Les enseignants doivent connaître les intentions d'apprentissage et les critères de réussite de leurs cours, savoir dans quelle mesure ils atteignent ces critères pour tous les élèves et savoir où aller ensuite à la lumière de l'écart entre les connaissances et la compréhension actuelles des élèves et les critères de réussite suivants : « Où allez-vous ? », « Comment allez-vous ? » et « Où allez-vous ensuite ? »
5. Les enseignants doivent passer d'une idée unique à une multitude d'idées, puis connecter et étendre ces idées de manière à ce que les apprenants construisent et reconstruisent les connaissances et les idées. Ce ne sont pas les connaissances ou les idées, mais la construction par l'apprenant de ces connaissances et de ces idées qui est essentielle.
6. Les chefs d'établissement et les enseignants doivent créer des environnements scolaires où l'erreur est accueillie comme une opportunité d'apprentissage,

où l'élimination des connaissances et des compréhensions incorrectes est la bienvenue et où les élèves peuvent se sentir en sécurité pour apprendre, ré-apprendre et explorer les connaissances et la compréhension.

Annexe 2. Document du professeur pour la leçon « 1 + 1 = ? », pages 9 et 19

B. Enigme

Une addition au résultat peu logique ...
Une anomalie mathématique ?

Phase 1 : émergence de l'énigme à résoudre

Mélangeons 100 mL d'eau et 100 mL d'alcool de manière à réaliser un mélange .

Matériel et produits

- 2 éprouvettes graduées (capacité : 100 mL et 250 mL)
- Eau et alcool (méthanol ou éthanol dénaturé)

Mode opératoire

1. Verser avec précision 100 mL d'eau dans l'éprouvette de 250 mL.
2. Verser avec précision 100 mL d'alcool dans l'éprouvette de 100 mL, puis transvaser ce volume dans celle contenant de l'eau (incliner l'éprouvette et verser très lentement l'alcool sur l'eau de manière à éviter le mélange des liquides).
3. Lire le volume avec précision.
4. Mélanger les deux liquides (boucher l'extrémité de l'éprouvette à l'aide de la main) et réaliser un mélange.
5. Lire à nouveau le volume avec précision.

Schéma

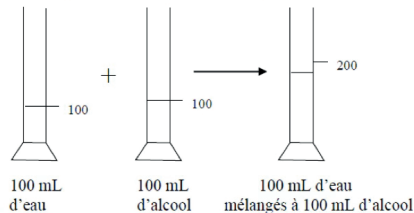


Tableau des résultats

Volume d'eau	Volume d'alcool	Volume final
100 mL	100 mL	194 mL

Le volume final te paraît-il correct ? Pourquoi ?

Non, car le volume final devrait être égal à 200 mL (somme du volume d'eau et du volume d'alcool).

Phase 6 bis : expérience complémentaire en vue d'apporter la solution à l'énigme

Matériel et produits

- Eprouvette graduée de 100 mL.
- Eprouvette graduée de 250 mL.
- Graines rouges de haricot – grains de riz

Mode opératoire

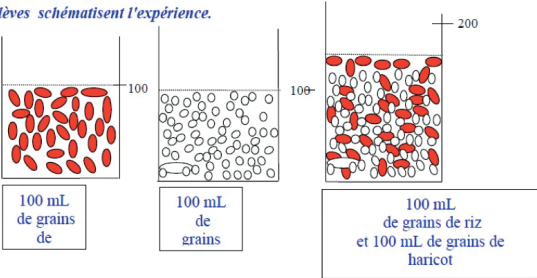
1. Verser avec précision 100 mL de grains de riz dans l'éprouvette de 250 mL.
2. Verser avec précision 100 mL de graines de haricot dans l'éprouvette de 100 mL puis transvaser les graines de haricot dans les grains de riz.
3. Lire le volume avec précision.
4. Mélanger énergiquement.
5. Lire le volume avec précision.
6. Observer la position des grains de riz et des graines de haricot.

Constatations

Le volume total est inférieur à la somme des deux volumes initiaux.

Modélisation (grains de riz – graines de haricot)

Les élèves schématisent l'expérience.



Pourquoi le volume d'un mélange de 100 mL de grains de riz et de 100 mL de grains de haricot est-il plus petit que 200 mL ?
Parce que les grains de riz se glissent entre les grains de haricot.
 Que se passe-t-il quand on mélange l'eau à l'alcool ?
Les corpuscules d'eau se glissent entre les corpuscules d'alcool.

Annexe 3. Propos d'Avogadro (1811, p. 60-61) illustrant la distinction conceptuelle naissante entre molécule et atome

« Il semble qu'une molécule composée de deux ou plusieurs molécules élémentaires, devrait avoir sa masse égale à la somme des masses de ces molécules, et qu'en particulier, si dans une combinaison une molécule d'un corps s'adjoint deux ou plusieurs molécules d'un autre corps, le nombre des molécules composées devrait rester le même que celui des molécules du premier corps. D'après cela, dans notre hypothèse, lorsqu'un gaz se combine avec deux ou plusieurs fois son volume d'un autre gaz, le composé qui en résulte, s'il est gazeux, ne pourroit avoir qu'un volume égal au premier de ces gaz. Or cela n'a pas lieu en général dans le fait. Par exemple, le volume

de l'eau supposée gazeuse est, comme M. Gay-Lussac l'a fait voir, double de celui du gaz oxygène qui y entre, ou, ce qui revient au même, égal à celui de l'hydrogène, au lieu d'être égal à celui de l'oxygène ; mais il se présente assez naturellement un moyen d'expliquer les faits de ce genre conformément à notre hypothèse : c'est de supposer que les molécules constituantes d'un gaz simple quelconque, c'est-à-dire celles qui s'y tiennent à une distance telle à ne pouvoir exercer leur action mutuelle, ne sont pas formées d'une seule molécule élémentaire, mais résultent d'un certain nombre de ces molécules réunies en une seule par attraction, et que lorsque des molécules d'une autre substance doivent se joindre à celles-là pour former des molécules composées, la molécule intégrante qui devoit en résulter se partage en deux ou plusieurs parties ou molécules intégrantes composées de la moitié, du quart, etc. du nombre de molécules élémentaires dont étoit formée la molécule constituante de la première substance, combinée avec la moitié, le quart, etc. du nombre des molécules constituantes de l'autre substance. »