

LA CONSTRUCTION DU CONCEPT PHYSIQUE DE VOLUME EN CYCLE III : QUELLES DIFFICULTES ? QUELLES STRATEGIES DIDACTIQUES ?

JAVOY* Sandra – DECROIX** Anne-Amandine – de HOSSON*** Cécile

Résumé – Une étude sur la construction du concept de densité en cycle 3 nous a amené à questionner l’enseignement et l’apprentissage du volume à l’école élémentaire. Nous présentons ici les résultats d’une enquête du cadre institutionnel et des représentations des élèves sur ce concept multidisciplinaire, faisant émerger des difficultés de conceptualisation inhérentes à une approche principalement mathématique du volume que nous proposons de surmonter par un scénario d’enseignement de son sens physique.

Mots-clés : volume, concept multidisciplinaire, cadre institutionnel, conceptions, scénario d’enseignement

Abstract – A study on the construction of the concept of density in fifth grade led us to question the teaching and learning of volume in elementary school. Here we present the results of a survey of the institutional framework and students' representations of this multidisciplinary concept. This survey reveals difficulties of conceptualization probably linked to a mainly mathematical approach of the concept of volume. We propose to overcome these difficulties through a teaching scenario based on the physical meaning of the concept of volume.

Keywords: volume, multidisciplinary concept, institutional framework, students' conceptions, teaching scenario

I. CONTEXTE

Cette contribution trouve sa source dans une recherche en cours ayant pour objectif l’élaboration d’une séquence d’enseignement permettant d’initier la construction du concept de densité en cycle 3, mentionnée dans les textes officiels comme exemple de propriété permettant de caractériser un échantillon de matière et de distinguer les matériaux.

La densité, pour les solides et les liquides, est définie comme le rapport de la masse d’un corps sur celle d’un même volume d’eau liquide à 4°C. Dans le cas d’un matériau à l’état solide, la densité permet en outre de prévoir son comportement lors de son immersion dans l’eau liquide (**Figure 1**). En tant que concept, la densité s’inscrit donc dans un système conceptuel complexe, comprenant notamment les concepts de masse et de volume et sa conceptualisation par les élèves ne peut donc probablement pas se réaliser en dehors d’une bonne compréhension du sens physique de ces grandeurs. C’est d’ailleurs ce qu’indiquent les résultats de l’étude menée par Hashweh (2016) auprès d’élèves de 12-13 ans, qui portait sur l’enseignement et l’apprentissage de la masse volumique. Son étude montre notamment qu’une bonne compréhension du sens physique du concept de volume permet aux élèves une

¹ * Université d’Orléans, LDAR (EA 4434) UA UCP UPD UPEC URN - France – sandra.javoy@univ-orleans.fr

² ** LDAR (EA 4434) UA UCP UPD UPEC URN - France – aamandine.decroix@espe-inf.fr

³ *** LDAR (EA 4434) UA UCP UPD UPEC URN - France – cecile.dehosson@univ-paris-diderot.fr

⁴ BO de nov. 2015, disponible à http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?pid_bo=33400.

⁵ La masse volumique d’une substance (density en anglais) étant la masse d’une substance par unité de volume, cette grandeur physique est intimement liée à la densité ; la définition de la densité est d’ailleurs bien souvent ramenée au rapport de la masse volumique de la substance sur celle de l’eau.

meilleure conceptualisation de la masse volumique et les amène notamment à associer plus facilement le volume d'un solide au volume d'eau déplacé lors de son immersion. L'étude menée par Hashweh confirme par ailleurs les travaux de Piaget & Inhelder (1941) selon lesquels le co-développement de la densité avec le volume pourrait favoriser la conceptualisation de la densité.

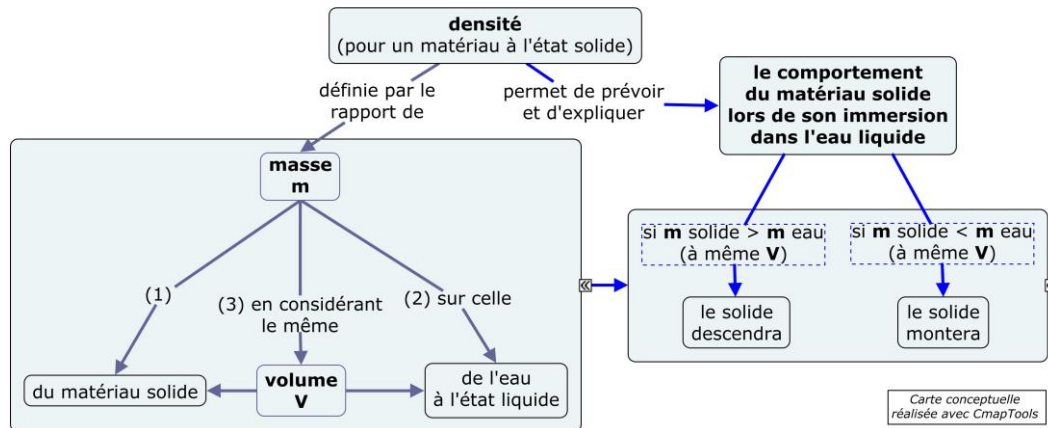


Figure 1 – Carte conceptuelle de quelques caractéristiques épistémologiques de la densité, mettant en évidence les relations trophiques du concept de densité avec les concepts de masse et de volume

Ainsi notre étude portant sur la construction du concept de densité en cycle 3 nous a conduites à explorer l'enseignement et l'apprentissage du volume à l'école élémentaire, dans un contexte où, à notre connaissance, très peu voire aucune étude en didactique de la physique portant spécifiquement sur le concept de volume n'est disponible dans la littérature.

II. PROBLEMATIQUE

En physique, le volume d'un solide, comme celui d'un liquide, est une grandeur extensive qui renvoie à l'espace occupé par le solide ou le liquide. Selon le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL), le volume du solide (pris dans son acception mathématique) renvoie d'une part, à « une figure à trois dimensions, délimitée par plusieurs faces jointives » et d'autre part, à la « mesure de cette figure, calculée selon certaines formules mathématiques ». Cette polysémie à l'œuvre selon la discipline considérée peut, d'après nous, constituer un obstacle lexical (au sens d'Astolfi & Peterfalvi 1993) et être source de difficulté pour les élèves si une distinction n'est pas explicitement opérée par les enseignants. En outre, plusieurs études, notamment celle de Dawkins et al. (2008) sur l'enseignement de la masse volumique et celle d'Akatugba & Wallace (1999) sur les processus mathématiques utilisés par les élèves lors de la résolution de problèmes de physique, semblent indiquer qu'une introduction trop précoce du formalisme mathématique peut détourner les élèves du sens physique de certaines grandeurs physiques ou que l'utilisation de relations mathématiques, qui semble être privilégiée par les élèves une fois introduites, pourraient faire oublier le sens des concepts physiques. La primauté de la mathématisation de concepts scientifiques dans la pensée des élèves pourrait alors faire écran à la compréhension d'autres grandeurs associées (comme le volume pour la densité). Nous

⁶ Source : <http://www.cnrtl.fr>.

⁷ Même si cette définition ne convient pas à tous les solides, comme une sphère qui possède une surface non plane, elle semble renvoyer le concept de volume aux formes solides (cube, parallélépipède rectangle,...) définies en géométrie, par opposition aux formes simples (carré, rectangle,...).

avons ainsi des raisons de penser que la projection mathématique du mot « volume », approché par la mesure et l'utilisation de relations mathématiques, pourrait faire obstacle à la construction de son sens physique et donc être génératrice de difficulté pour l'apprentissage de la densité.

La coexistence de deux unités de mesure du volume (le litre et le mètre cube), peut également, selon nous, constituer une difficulté à l'apprentissage du volume, puisque dans le langage courant, le litre (et ses multiples) est principalement associé au volume d'un liquide ou à une capacité (ou contenance), tandis que le mètre cube (et ses multiples) est plus généralement associé au volume d'un solide. Cette distinction d'usage des unités pourrait conduire les élèves à opérer une différenciation entre la définition du volume pour un solide et celle pour un liquide, ne leur permettant alors ni de comparer, ni de se rendre compte d'une égalité de volume entre un solide et un liquide, qui est une nécessité d'une part, pour amener les élèves à associer le volume d'un solide au volume d'eau déplacé lors de son immersion et d'autre part, pour initier la construction du concept de densité par comparaison de masses, à volumes identiques, entre un solide et de l'eau à l'état liquide.

En termes d'analyse écologique (Chevallard 1986), le concept de volume semble donc vivre dans des univers épistémologique et culturel différents : l'univers des mathématiques, celui de la physique et celui de la vie quotidienne. L'habitat écologique du concept de volume étant distinct d'un univers épistémologique et culturel à l'autre, son rôle fonctionnel l'est probablement aussi, ce qui peut rendre la circulation cognitive difficile, notamment si un changement de niche écologique est opéré par l'enseignant sans que cela soit explicitement travaillé avec les élèves. C'est cette dimension qui est ici à l'étude et qui engage une exploration du cadre institutionnel (les programmes) et des conceptions des élèves sur le volume à la fin de l'école élémentaire. Aussi, nous présentons dans cet article les résultats d'une analyse des attendus institutionnels concernant l'enseignement du volume à l'école élémentaire et les résultats d'un examen des conceptions sur le concept de volume d'élèves âgés de 10 à 13 ans, sur lesquels nous nous sommes appuyées pour proposer une stratégie didactique susceptible de favoriser l'apprentissage du sens physique du volume, nécessaire à la construction du concept de densité.

III. METHODOLOGIE

Dans un premier temps, nous avons réalisé une analyse du cadre institutionnel à partir de l'étude du BO de novembre 2015. Nous avons examiné les prescriptions institutionnelles en cycles 2 et 3, d'une part, en sciences (en particulier dans le thème « Qu'est-ce que la matière ? », en cycle 2 et dans les thèmes « Matière, mouvement, énergie, information » et « Matériaux et objets techniques », en cycle 3), et d'autre part, en mathématiques : en particulier dans le domaine « Grandeurs et mesures ». Cette analyse a été complétée par l'étude des ressources d'accompagnement disponibles sur le site Eduscol.

Dans un deuxième temps, nous avons recensé les conceptions des élèves sur le concept de volume mises en évidence par plusieurs études didactiques sur l'enseignement et l'apprentissage de la masse volumique et par les travaux, en psychologie du développement,

⁸ Disponible à <http://eduscol.education.fr/>.

⁹ Nous nous sommes appuyées sur ces études puisque d'une part, et à notre connaissance, aucune étude en didactique de la physique portant spécifiquement sur le concept de volume ou de densité n'est disponible dans la littérature et que, d'autre part, la

de Piaget & Inhelder (1941). Ce recensement a été complété par nos propres constatations obtenues à partir d'une part, d'entretiens individuels menés auprès de trois élèves de 6^e (de 11 et 12 ans, identifiés par les lettres *L*, *Am* et *An* par la suite) de deux collèges différents, en début d'année scolaire 2016-2017, permettant ainsi d'identifier leurs conceptions avant que ne leur soit réintroduit le concept de volume. Nous avons d'autre part réalisé un entretien avec deux élèves de 11 ans d'une même classe de CM2 (identifiés par les lettres *E* et *S* par la suite), en fin d'année scolaire 2016-2017, afin d'identifier leurs conceptions à la fin de l'école élémentaire. Les trois premiers entretiens étaient constitués de questions principalement supportées par la comparaison de différents objets qui devaient permettre d'identifier les conceptions des élèves relatives aux savoirs de références qui nous paraissaient pertinents pour la construction du concept de densité. En référence aux caractéristiques épistémologiques de la densité présentées dans la **Figure 1** et concernant plus spécifiquement le concept de volume, nous avons ainsi questionné les connaissances et représentations des élèves sur son sens physique, sa conservation lors de la déformation d'un solide ou la forme d'un récipient contenant un liquide et sur les outils et instruments de mesure ou de comparaison de cette grandeur. Nous avons réalisé une analyse qualitative des transcrits de ces entretiens que nous avons complétée par une analyse lexicométrique, effectuée à l'aide du logiciel Iramuteq. L'entretien en binôme nous a permis de compléter l'identification des conceptions des élèves sur le concept de volume.

Les résultats de ces deux analyses nous ont permis d'identifier un certain nombre d'éléments susceptibles d'être générateur de difficultés pour la compréhension du sens physique du volume et donc source d'obstacles à la construction de la densité en cycle 3. C'est au regard de ces enquêtes que nous proposons finalement un scénario d'enseignement permettant la conceptualisation du volume qui permettrait de favoriser l'apprentissage de la densité.

IV. RESULTATS DE L'ENQUETE SUR LE CADRE INSTITUTIONNEL ET LES CONCEPTIONS DES ELEVES

1. *Le cadre institutionnel*

Passelaigue (2011), à partir de l'étude des textes officiels et des documents annexes de mathématiques et de sciences, pour les classes d'enfants de 7 à 11 ans, de 1923 à 2008, a montré que les grandeurs physiques, telles que la masse et le volume, ont principalement été abordées dans la discipline « mathématiques », comme outil servant à la construction du nombre (notamment les décimaux) et de la mesure, donc en dehors de leur sens physique. Concernant plus spécifiquement le volume, cette grandeur physique n'a été considérée comme « objet d'étude en dehors de la mesure » et abordée en sciences que dans les programmes de 1978/1980. Avec la réforme de l'école élémentaire et du collège de 2015, le constat reste à peu près le même. Les résultats de la recherche de l'occurrence du mot « volume » dans le BO de novembre 2015 pour les cycles 2 et 3, présentés dans le **Tableau 1**, montre notamment l'absence du mot « volume » au cycle 3 en sciences, contre 18 occurrences en mathématiques et 4 en arts plastiques.

Discipline	Cycle 2	Cycle 3
------------	---------	---------

conceptualisation de la masse volumique étant intimement liée à celle du volume, ces études ont permis d'atteindre un certain nombre de conceptions des élèves sur ce concept.

¹⁰ Préambules, instructions, documents d'application et documents d'accompagnement.

Français*	2	1
Mathématiques	1	18
Sciences	1	0
Arts plastiques**	2	4

*« volume » cité relativement au « volume de la voix » ; **« volume » cité relativement à l'exploration de l'espace en trois dimensions, notamment à l'aide de modelages.

Tableau 1 - Occurrence du mot « volume » par discipline et par cycle dans le BO de novembre 2015

Au cycle 2, en sciences, la masse et le volume apparaissent dans les compétences en ces termes : « comparer et mesurer [...] le volume et la masse de l'eau à l'état solide et à l'état liquide », sans que soit explicitement mentionné la construction du sens physique de ces grandeurs. En mathématiques, dans le domaine « grandeurs et mesures », c'est principalement la « contenance » qui est mentionnée. Les objectifs affichés sont de travailler, avec les élèves, la mesure, à travers notamment l'utilisation d'instruments de mesure et l'introduction des unités de mesure (et donc du litre et ses multiples pour la contenance) et de réaliser des opérations mathématiques (addition, multiplication par un nombre ...) sur les grandeurs. Il est explicitement mentionné que l'enseignement dans la discipline « Questionner le monde » doit se faire en étroite relation avec le domaine « grandeurs et mesures » en mathématiques ; il reste cependant à savoir comment l'enseignant prend en charge l'incohérence de l'utilisation du mot « volume » en sciences et celui de « contenance » en mathématiques, d'autant que dans les ressources disponibles sur le site Eduscol **Erreur ! Signet non défini.** les deux termes sont utilisés sans que ne soit explicitement mentionnée une différence entre les deux.

Au cycle 3, la grandeur « volume » n'est plus mentionnée dans le BO dans l'enseignement « Sciences et technologie », seulement dans le domaine « Grandeurs et mesures » en mathématiques. Bien qu'il soit mentionné, dans la partie « Repères de progressivité », que « L'étude d'une grandeur nécessite des activités ayant pour but de définir la grandeur », il est précisé que cela doit se faire par « comparaison directe ou indirecte, ou recours à la mesure », ce qui peut poser question sur la construction du sens physique des grandeurs si celle-ci n'est réalisée qu'à travers la mesure et le nombre (Passelaigue 2011). Une différenciation est formulée entre « volume » et « contenance » : « comparer ou mesurer des contenances (ou volumes intérieurs d'un récipient) » et les enseignants doivent cependant amener les élèves à « Relier les unités de volume et de contenance », pour lesquelles il est d'ailleurs précisé que les « Unités usuelles de contenance » sont des « multiples et sous-multiples du litre » et que celles de volume sont les « cm^3 , dm^3 et m^3 ». Comme indiqué plus haut, ceci peut, selon nous, conduire les élèves à opérer une différenciation entre la définition du volume d'un solide et celle d'un liquide. Enfin, bien qu'il soit précisé, dans les compétences attendues, l'estimation de la « mesure d'un volume par différentes procédures », c'est principalement par l'introduction de formules mathématiques qu'est travaillée la détermination du volume d'un cube et d'un pavé droit ; il n'est pas proposé leur détermination par déplacement d'eau lors de leur immersion. Une activité où des objets de différentes masses mais de volume identique ou de différents volumes mais de masse identique sont immergés dans l'eau est présentée dans une ressource d'Eduscol, intitulée « masse et volume ». Elle n'a cependant pas pour objectif d'amener les élèves à déterminer le volume d'un objet (ni à introduire le caractère plus ou moins dense des matériaux), mais est présentée comme activité permettant de les aider à différencier les grandeurs masse et volume. Enfin, dans une autre ressource, intitulée « Masse et matière (1) », le volume d'un objet est associé à deux reprises à sa « taille », terme également polysémique, dont l'usage en place du volume peut également être source de confusion pour les élèves.

Finalement, excepté dans un document destiné aux enseignants pour « Approfondir ses connaissances pour s'appropriier le programme », le sens physique du volume relatif à

l'espace occupé par un solide ou un liquide n'est explicitement mentionné ni dans le BO, ni dans les supports d'accompagnement des cycles 2 et 3 ; c'est en arts plastiques qu'il semble le plus être approché à travers l'étude de « L'espace en trois dimensions », par la « découverte et expérimentation du travail en volume » grâce à des activités de modelage, d'assemblage et de construction. L'enseignement institutionnel du volume est donc essentiellement attendu dans l'univers épistémologique et culturel des mathématiques ; c'est donc principalement sa projection mathématique (« figure à trois dimensions » et « mesure de cette figure ») qui semble être privilégiée à l'école élémentaire.

2. Les conceptions des élèves sur le concept de volume

L'analyse des entretiens que nous avons menés nous a permis d'identifier des régularités chez les élèves, dont certaines avaient été relevées dans les études de Hewson & Hewson (1983), Dole et *al.* (2009) et Hashweh (2016) sur l'apprentissage et l'enseignement de la masse volumique. Elle montre notamment que les élèves n'associent pas le volume d'un solide ou d'un liquide à l'espace qu'il occupe, donc à son sens physique. L'étude menée par Hashweh montre qu'il s'agit pourtant d'un prérequis nécessaire pour que les élèves puissent ensuite associer le volume d'un objet au volume d'eau déplacé lors de son immersion. Sans ce préalable, les élèves interrogés par Hashweh ont alors eu tendance à associer le volume d'eau déplacé à la masse de l'objet, confirmant les résultats des travaux de Piaget & Inhelder (1941) et ce que semble également indiquer l'étude d'Andersson (1986) et celle de Karplus et *al.* (1977), citée par Andersson.

Comme pour l'étude de Hewson & Hewson, notre analyse qualitative des entretiens montre également que les élèves semblent confondre le concept de volume avec celui de forme. Par exemple, lorsque nous avons demandé à *An* ce que le mot « volume » lui évoquait, sa réponse a été : « le volume c'est la forme de l'objet [...] ça peut être heu en rond / en pavé [...] une sphère ». Cette confusion explique probablement leur incapacité à rendre compte de la conservation du volume d'un solide déformable ou d'un liquide transvasé dans un récipient de forme différente. Lorsque nous avons présenté à *An* une boule de pâte à modeler que nous avons par la suite déformée, il nous a par exemple indiqué que : « [le volume de pâte à modeler] va être différent [...] parce qu'on a / on a changé la forme de / de la pâte à modeler » et lorsque nous avons demandé à *L* comment il ferait pour déterminer le volume d'eau contenue dans une bouteille que nous lui présentions, sa réponse a été : « ben ça dépend / parce que si on met l'eau comme ça [*L* penche la bouteille contenant de l'eau] ce sera pas le même volume // si on met l'eau comme ça [*L* met la bouteille à l'horizontale] ». Après plusieurs hésitations, seule *Am* a affirmé qu'après inclinaison de la bouteille contenant l'eau : « on aurait le même volume // mais ça sera pas la même forme ». Cette conception de non-conservation du volume d'un solide déformable ou d'un liquide avait également été mise en évidence par Hashweh et Hewson & Hewson et, avant eux, par Piaget & Inhelder (1941). Selon ces derniers, la conceptualisation de la conservation du volume d'un solide ou d'un liquide suppose d'avoir construit l'idée de l'incompressibilité des matières condensées ; or, toujours selon Piaget & Inhelder, jusqu'à 11-12 ans, les enfants conçoivent la matière comme une enveloppe plus ou moins remplie de corpuscules plus ou moins serrés et adopte un schéma de rapprochement et d'éloignement possible de ces corpuscules à l'intérieur de l'enveloppe, les conduisant à la non-conservation du volume lors de déformations.

Comme l'ont montré Hewson et Hewson, les élèves que nous avons interviewés semblent également associer le volume à une quantité de matière. *An* et *Am* distinguent notamment l'utilisation de l'unité de masse pour une quantité de matière solide et l'unité de volume « litre » (ou ses multiples) pour une quantité de matière liquide : « en cuisine on se / ben les masses comme ça on mesure en grammes / ben ça dépend heu c'est quoi si c'est du liquide on

mesure en millilitres ou en litres » (*Am*). Ici, c'est dans l'univers culturel de la vie quotidienne que les élèves semblent mobiliser leurs connaissances du volume, l'associant à une quantité de matière. Cette confusion peut également trouver son origine dans l'institution scolaire puisque c'est par la notion de contenance (définie comme étant la quantité de ce qu'un récipient peut contenir) qu'est introduit le volume d'un liquide. Dole et *al.* avaient d'ailleurs remarqué que la plupart des explications utilisées par les élèves pour décrire le concept de volume, portaient essentiellement sur la capacité et la contenance. Pour les volumes de solides, lorsque nous avons demandé aux élèves que nous avons interviewés de classer des objets de même forme en fonction de leur volume, comme Hewson & Hewson, nous avons pu également remarquer qu'ils semblent confondre le volume d'un solide avec sa « taille », terminologie employée dans la ressource « Masse et matière (1) » mentionnée précédemment, faisant donc là aussi écho à l'enseignement institutionnel du volume.

Les élèves semblent enfin associer le concept de volume aux formes solides (dont ils ne semblent que partiellement maîtriser les noms : cube, parallélépipède rectangle, sphère ...), par comparaison aux formes simples (carré, rectangle, disque), et à leur mesure. Par exemple, lorsque nous avons demandé à *S* et *E* ce que le mot « volume » leur évoquait :

S : le volume c'est quand on peut le voir en 3D par exemple une forme c'est quand on peut le dessiner juste comme ça par exemple sur une feuille »

[...]

E : quand on prend un crayon et qu'on forme un carré sur la feuille on dit pas un cube parce que c'est un carré

S : oui là c'est on voit qu'une face

E : et un cube c'est vraiment tout ... c'est toutes les faces

et pour *Am* : « par exemple c'est des volumes des cubes ou des parallélépipèdes ». Les propos tenus ici par *S*, *E* et *Am* font écho aux sens mathématiques du volume trouvés sur le site du CNRTL. C'est d'ailleurs par l'utilisation de relations mathématiques (qu'ils ne semblent en outre que partiellement connaître) que les élèves proposent de déterminer le volume des solides que nous leur avons soumis : « ben je prendrais une règle / je ferais largeur fois longueur et ça me donnerait son volume » (*L*). Les élèves mobilisent donc ici leurs connaissances du volume dans l'univers épistémologique et culturel des mathématiques, travaillés dans l'institution scolaire. Les savoirs construits dans cette institution ne semblent cependant que partiellement maîtrisés, car outre l'utilisation de relations mathématiques erronées pour déterminer le volume de solides de formes géométriques simples, aucun élève interrogé ne mentionne l'unité de mesure du volume du système international (*i.e.* le mètre cube ou ses multiples). Confronté à un objet de forme géométrique « simple » ou quelconque, il est important de relever également qu'aucun élève interviewé ne fait référence à la détermination de son volume par déplacement d'eau après son immersion totale.

Notre analyse lexicométrique des entretiens individuels a confirmé certains points de notre analyse qualitative puisque d'une part, une analyse de similitude fait apparaître une certaine proximité dans l'utilisation par les élèves des mots « volume » et « forme » et d'autre part, une classification par la méthode de Reinert fait apparaître une classe comportant le mot volume associé à : « mathématique », « cube »/« carré »/« côté » (faisant écho à la géométrie) et « calculer »/« mesurer »/« nombre »/« longueur » (faisant écho à la détermination du volume à partir de relations mathématiques). Les élèves interviewés semblent donc avoir suivi un enseignement du volume principalement dans la discipline « mathématiques » (ce que *Am*

¹¹ Le volume étant une grandeur extensive, sa valeur numérique est proportionnelle à la quantité de matière considérée ; ceci explique que, par exemple dans les recettes de cuisine, lorsqu'un ingrédient se présente à l'état liquide, c'est son volume à prélever qui est indiqué en place de sa masse (grandeur physique définie en sciences pour rendre compte d'une quantité de matière).

confirme : « ça les volumes je les ai vu en mathématiques ») et vraisemblablement en dehors d'une exposition à son sens physique. L'enseignement institutionnel du volume et son rôle fonctionnel dans l'univers quotidien semblent par ailleurs avoir conduit les élèves à distinguer le « volume d'un solide » et le « volume d'un liquide ». Cette disjonction entre les deux, entretenue par l'usage de deux unités de mesures différentes, et la confusion identifiée chez les élèves entre forme et volume pour un solide et un liquide (pouvant trouver sa source là aussi dans l'enseignement institutionnel du volume) constituent sans doute les principaux obstacles à la construction du concept de densité que nous proposons de surmonter par un scénario d'apprentissage du sens physique du volume en cycle 3.

V. PROPOSITION D'UNE STRATEGIE DIDACTIQUE POUR L'ENSEIGNEMENT DU VOLUME A L'ECOLE ELEMENTAIRE

La première étape de notre scénario d'enseignement entend viser l'association du volume à l'espace occupé par un solide ou un liquide. Elle pourrait prendre appui sur un réinvestissement des notions vues en cycle 2, sur les propriétés de la matière. En effet, pour éprouver la matérialité de l'air, les élèves sont amenés, au cours de ce cycle, à se rendre compte que toute matière, qu'elle soit à l'état solide, liquide ou gazeux, a une masse et occupe de l'espace. Ainsi l'acception physique du mot « volume » pourrait être introduite et amener les élèves à se rendre compte que sa signification est la même pour un solide et un liquide.

Lors d'une deuxième étape, l'association du volume d'un objet au volume d'eau déplacé lors de son immersion pourrait être travaillée. Cette étape prendrait appui sur un réinvestissement de ce qui aura été vu lors de la première étape (i.e. même définition pour le volume d'un solide et d'un liquide), pour conduire les élèves à reconnaître une égalité de volume entre un solide et un liquide occupant le même espace. Pour cela un vase à débordement (vase de Boudréaux) pourrait être utilisé, permettant de récupérer le volume d'eau déplacé dans un récipient qui serait, dans un premier temps, de mêmes forme et dimensions que le solide immergé. Ensuite, l'utilisation de solides de même volume mais de formes différentes, conduirait les élèves à opérer une différenciation entre la « forme » et le « volume » d'un solide, qui pourrait être extrapolée aux liquides. Cette approche devrait par suite favoriser la conceptualisation de la conservation du volume des solides déformables et des liquides.

Pour notre scénario d'enseignement, au regard des études de Dawkins et *al.* (2008) et de Akatugba & Wallace (1999) et de notre enquête sur les conceptions des élèves, nous préconisons par ailleurs, pour une compréhension holistique et durable du sens physique du volume, l'utilisation d'activités de comparaison détachées de la mesure et du nombre.

VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Notre étude montre que les élèves, à l'issue de l'école élémentaire, ont un rapport au concept de volume, comme objet de savoir, principalement inscrit dans l'écologie mathématique et celle de la vie quotidienne. L'analyse des attendus institutionnels, confirmée par l'analyse des conceptions des élèves, a notamment permis de constater que

¹² Par exemple en récupérant dans un même récipient le volume d'eau déplacé par un même morceau de pâte à modeler mais de formes différentes.

¹³ Par exemple en récupérant dans des récipients de formes différentes le volume d'eau déplacé par un même solide.

l'enseignement du volume à l'école élémentaire se fait principalement dans la discipline « mathématiques », conduisant les élèves à associer le volume à une forme géométrique et à sa mesure, par l'application de relations mathématiques. Cette approche, en dehors d'une exposition à son sens physique, semble conduire les élèves :

- à confondre le volume occupé par de la matière, quel que soit son état physique, avec sa forme,
- à opérer une différenciation entre le volume d'un solide et le volume d'un liquide, entretenue par l'utilisation de deux unités de mesure différentes selon l'état physique,
- à associer le volume à une quantité de matière, association entretenue par le rôle fonctionnel donné à cette grandeur dans l'univers quotidien.

Ces conceptions peuvent être génératrices de difficultés pour l'apprentissage de la densité par comparaison de masses, à volumes identiques, entre un solide et de l'eau à l'état liquide. L'apprentissage du concept de volume comme objet de savoir par une modification du rapport des élèves à ce savoir pour le faire vivre dans l'univers culturel et épistémologique de la physique apparaît donc comme une nécessité.

Au regard des résultats de cette enquête du cadre institutionnel et des représentations des élèves sur le concept de volume, pour remédier aux difficultés inhérentes à une approche principalement mathématique du volume à l'école élémentaire, nous proposons donc un scénario d'enseignement du sens physique du volume. Il s'appuie sur des activités de comparaison, en dehors du nombre et de la mesure, qui devraient permettre aux élèves de relier le volume d'un solide et d'un liquide à l'espace qu'ils occupent et de comparer les volumes de solides de formes différentes entre eux et avec celui d'un liquide par l'emploi de la méthode habituellement utilisée pour déterminer le volume d'un solide de forme quelconque par déplacement d'eau.

Ce scénario sera testé sous forme de Teaching Experiment (Komorek & Duit 2004) avec deux élèves de CM2 avant d'être expérimenté en classe entière dans le cadre d'une séquence visant la construction du concept de densité.

REFERENCES

- Akatugba A. H., & Wallace, J. (1999). Mathematical Dimensions of Students' Use of Proportional Reasoning In High School Physics. *School Science and Mathematics*, 99(1), 31-41.
- Andersson B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Astolfi J.-P., & Peterfalvi B. (1993). Obstacles and construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster N°16. Modèles pédagogiques*, 103-141.
- Chevallard Y. (1986), «Esquisse d'une théorie formelle du didactique», in C. Laborde, *Actes du Premier colloque franco-allemand de didactique des mathématiques et de l'informatique* (CIRM, Marseille, 16-21 novembre 1986), La Pensée sauvage, Grenoble, 1988, 97-106.
- Dawkins, K. R., Dickerson D. L., McKinney S. E., & Butler S. (2008). Teaching Density to Middle School Students: Preservice Science Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Practices. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 82(1), 21-26.
- Dole S., Clarke D., Wright T., & Hilton G. (2009). *Developing Year 5 Students' Understanding of Density: Implications for Mathematics Teaching*. In *Crossing Divides:*

- Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Vol. 1, p. 153-160, in Palmerston North, NZ: MERGA.
- Hashweh M. Z. (2016). The complexity of teaching density in middle school. *Research in Science & Technological Education*, 34(1), 1-24.
- Hewson M. G., & Hewson P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8), 731-743.
- Karplus R., Lawson A. E., Wollman W., Appel M., Bernoff R., Howe A., Rusch J. J. & Sullivan F. (1977), *Science Teaching and the Development of Reasoning - a workshop* (Lawrence Hall of Science University of California, Berkeley).
- Komorek M., & Duit R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Passelaigue Theys D. (2011). *Grandeurs et mesures à l'école élémentaire* (Thèse de doctorat). Université de Montpellier 2.
- Piaget J., & Inhelder B. (1941). *Le développement des quantités physiques chez l'élève : conservation et atomisme*. Neuchâtel et Paris : 2e éd. (augmentée et suivantes) Delachaux et Niestlé.