

Étude des pratiques d'une enseignante sur les notions de contenance et de volume en CM2 en éducation prioritaire

KARINE MOLVINGER, VALÉRIE MUNIER

LIRDEF

Universités Montpellier 2 et 3

France

karine.molvinger@fde.univ-montp2.fr

valerie.munier@fde.univ-montp2.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous analysons une séance de classe portant sur les notions de contenance et de volume mise en œuvre par un enseignant exerçant en zone socialement défavorisée à des élèves de 10-11 ans (grade 5). Il s'agit d'une étude de cas (parmi d'autres s'inscrivant dans un projet de recherche sur la transition école/collège) qui vise à étudier l'effet des pratiques des enseignants sur les apprentissages des élèves. L'étude de la séance et les tests que nous avons menés nous renseignent sur les déterminants des pratiques de cet enseignant et pointent la nécessité d'une formation plus poussée en didactique des sciences pour les enseignants.

MOTS-CLÉS

Contenance, volume, double approche didactique et ergonomique des pratiques, didactique des sciences physiques, enseignement-apprentissage

ABSTRACT

In this article, we analyze a session of class concerning the notions of volume, from a teacher practicing in socially disadvantaged zone, to 10-11-year-old pupils (grade 5). It is about a case study (among others joining a research project on the transition school / middle school) which aims at studying the effect of the practices of the teacher on the learnings of the pupils. The study of the session and the tests which we led, drive us to first conclusions on the teaching practices and on the necessity of a more advanced training in didactics of the sciences for the teachers.

KEYWORDS

Capacity, volume, didactic and ergonomic approach of practices, sciences education, teaching and learning

INTRODUCTION

Cet article présente l'analyse d'une séquence de classe portant sur l'enseignement de la contenance et du volume en CM2 en ZEP¹. Ce travail fait suite à une précédente étude de cas

¹ Le CM2 correspond en France à la dernière année de l'école primaire (élèves de 10-11 ans, grade 5) et ZEP signifie « zone d'éducation prioritaire »

portant sur l'enseignement de la masse en CM2 (Molvinger, Munier & Chesnais, 2014). Ces deux analyses s'inscrivent dans le cadre d'un projet de recherche plus vaste portant sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques et des mathématiques à la transition école-collège². Il s'agit pour nous de repérer des continuités et/ou des ruptures, d'une part entre les mathématiques et les sciences physiques, et d'autre part entre les deux ordres d'enseignement (primaire et secondaire), afin de mieux comprendre ce qui, dans les classes, peut expliquer les difficultés liées à la transition et générer de la différenciation, en particulier en ZEP. Nous considérons que l'enseignement des grandeurs et de la mesure est un sujet particulièrement pertinent pour étudier la transition école-collège, puisqu'il relève à la fois des mathématiques et de la physique, ainsi que des deux ordres d'enseignement. A plus long terme, il s'agira d'analyser et de comparer les pratiques de plusieurs enseignants de l'école et du collège afin de repérer des régularités et des variations permettant de caractériser des contraintes et des marges de manœuvre à la transition.

Dans une première partie nous présentons le cadre théorique dans lequel nous nous situons, celui de la double approche didactique et ergonomique des pratiques (Robert et Rogalski 2002), et la méthodologie qui en découle. Nous précisons alors la problématique de cette communication. Nous développons ensuite une étude préliminaire qui comprend une analyse du savoir en jeu dans la séquence étudiée (contenance et volume) incluant les difficultés des élèves sur ces notions et une étude des instructions officielles. Puis nous présentons l'analyse *a priori* des tâches proposées aux élèves et analysons ensuite le déroulement effectif des séances en regardant à la fois les activités des élèves et celles de l'enseignant. L'objectif est d'essayer de comprendre les logiques d'actions de l'enseignant en identifiant les déterminants des pratiques. L'étude de productions des élèves de la classe lors de tests nous permet en outre de tenter d'apprécier les effets de cette séquence en termes d'apprentissages.

CADRE THÉORIQUE, MÉTHODOLOGIE ET PROBLÉMATIQUE

Le cadre théorique utilisé ici est celui de la double approche didactique et ergonomique des pratiques (Robert & Rogalski, 2002 ; Robert, 2008a) qui fut, à l'origine, développée pour l'étude des pratiques des enseignants de mathématiques du secondaire. Récemment, plusieurs chercheurs ont proposé des adaptations de ce cadre d'une part pour étudier les pratiques des enseignants du primaire (Peltier-Barbier et al., 2004 ; Charles-Pézar, 2010 ; Molvinger, Munier & Chesnais, 2014), et d'autre part pour étudier les pratiques d'enseignants de chimie dans le secondaire (Kermen & Barroso, 2013).

Ce cadre s'inscrit dans la théorie de l'activité, telle qu'elle a été spécifiée par Robert et Rogalski (2002) à l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques dans le cadre scolaire. Les notions de contenance et de volume dont il est question dans cet article sont à la charnière entre les mathématiques et les sciences physiques, ce qui justifie à la fois l'emploi de ce cadre et aussi certains ajustements réalisés pour nous adapter au type de séance analysé.

Cette théorie repose sur le fait que les pratiques des enseignants ont une influence sur les apprentissages potentiels des élèves. On entend par pratiques des enseignants tout ce que l'enseignant met en œuvre pour parvenir au but qu'il s'est fixé (enseigner tels contenus à tels élèves) pendant la classe mais également avant et après la classe, son discours, ses traces écrites, les activités qu'il propose aux élèves, ses décisions. Les pratiques de l'enseignant dépendent bien

² Projet financé par la région Languedoc-Roussillon, dans le cadre de l'appel à projet Chercheurs d'avenir 2011.

évidemment de la préparation qu'il a faite de sa séance mais aussi de son expérience, de son histoire personnelle, de sa formation, de ses connaissances, de son état psychique du moment mais également de ses élèves (leurs connaissances, leur motivation du moment) et de l'établissement dans lequel il exerce et des instructions officielles. Dans la théorie de la double approche, l'enseignant est celui qui doit transmettre le savoir aux élèves (versant didactique) mais c'est aussi un professionnel qui exerce un métier et qui doit être considéré comme tel avec tout ce que cela implique (versant ergonomique). Son parcours, son identité, sa culture influent sur les choix des contenus de sa séance et sur la manière dont il la gère.

Par ailleurs, on fait l'hypothèse que les pratiques des enseignants sont cohérentes, c'est-à-dire que les choix qu'ils font (lors de la préparation de leur séance, et de l'ensemble du déroulement) ne sont pas indépendants, qu'il y a une unité derrière ces choix. Enfin, on considère que les pratiques sont en partie stables dans des conditions ordinaires et sans intervention particulière (moment de crise comme en 1968) : ils existent des lignes d'action, une régularité, la plupart des choix des enseignants sont constants pour une période donnée.

La double approche propose une méthodologie pour étudier les pratiques des enseignants à partir d'observation en classe, en prenant en compte cinq composantes, non indépendantes, (Robert, 2008b) :

- la composante personnelle regroupe tout ce qui est propre à l'enseignant (âge, formation, conceptions et connaissances de sa discipline et de son enseignement, expérience, etc.). Ces renseignements permettent de mieux comprendre ce qu'il fait, ce qu'il ne fait pas, ce qu'il aurait voulu faire, ses adaptations, ses improvisations, ses doutes... ;
- la composante sociale intègre les facteurs liés à la composition sociale de l'établissement et des classes, les collègues... ;
- la composante institutionnelle inclut les contraintes liées à l'institution (les programmes, les horaires, ...) ;
- la composante cognitive comprend ce qui a trait aux contenus d'enseignement (le choix des exercices, le texte de la leçon, ...) ;
- enfin, la composante médiative concerne les choix que fait l'enseignant dans la gestion de la classe (part respective du travail individuel et du travail collectif, temps laissé à la recherche, gestion du temps, ...) et le discours qu'il tient (tout particulièrement les aides au travail des élèves, leur fréquence, le moment où elles interviennent).

Cette décomposition est faite pour les besoins de la description, mais, dans les pratiques, ces composantes sont imbriquées et il est nécessaire de les recomposer pour apprécier le travail d'un enseignant.

Du point de vue méthodologique, ce sont les activités des élèves en classe qui sont au cœur des analyses (Robert, 2008a; Chesnais, 2009). Les séances observées sont analysées, d'une part en reconstituant le scénario, c'est-à-dire l'enchaînement des tâches et l'organisation de la classe prévus par l'enseignant ; d'autre part, en analysant le déroulement, c'est-à-dire la mise en œuvre du scénario dans la classe.

L'analyse *a priori* du scénario exige de convertir la consigne donnée par l'enseignant en tâches pour les élèves, puis l'analyse de ces dernières d'un point de vue didactique pour déterminer les activités qu'elles sont susceptibles de provoquer chez les élèves, en décrivant les procédures de résolutions possibles, les connaissances mobilisées par les élèves ainsi que les conceptions erronées qui peuvent survenir. Cette analyse *a priori* des tâches permet de réaliser

une première prévision de l'ensemble des activités qu'elles sont susceptibles de provoquer chez les élèves (Robert, 2008a; Chesnais, 2009).

L'analyse du déroulement est réalisée à partir de vidéos de séances de classe, le plus souvent transcrites, qui permettent des interprétations partielles des pratiques enseignantes à des niveaux différents selon la finesse des analyses. Nous procédons tout d'abord à un découpage chronologique des séances en épisodes selon la nature du travail. Puis nous considérons notamment les temps et formes de travail (individuel, en petit groupe, collective en classe entière...) en fonction des contenus, les échanges verbaux, les aides prodiguées par l'enseignant, etc. Nous nous en tenons aux activités possibles, inférées à partir de nos hypothèses et des traces des activités effectives. En effet, les activités effectives elles-mêmes ne sont pas à notre portée, non seulement parce qu'elles sont différentes pour chaque élève et que notre méthodologie de recueil de données ne nous permet pas d'apprécier les activités individuelles, mais aussi parce qu'une partie de ces activités est de toutes façons inobservable, se déroulant « dans les têtes » (Chesnais, 2009).

Nous disposons également de productions d'élèves lors d'évaluations réalisées en classe (tests conçus par nos soins) en fin d'année. Ces productions nous permettent d'apprécier, même de manière imparfaite, les apprentissages réalisés.

Dans cette communication, nous analysons une séance de classe menée par un enseignant, que nous appellerons David, sur les notions de contenance et de volume. Il s'agit d'une part de tenter d'apprécier les effets des pratiques de David dans cette séance en termes d'apprentissage et d'autre part de voir quels sont les choix réalisés par cet enseignant et de comprendre et d'analyser ces choix. Pour cela nous nous basons sur les analyses du scénario et du déroulement de la séance ainsi que sur les résultats des tests. L'objectif à long terme, à partir de plusieurs études de cas menées à la fin de l'école et au début du collège, est de contribuer à identifier les choix possibles pour l'enseignement des notions de contenance et de volume à la transition école collège ainsi que leur potentiel en termes d'apprentissages, et d'identifier les marges de manœuvre et les conditions des évolutions possibles notamment en termes de formation.

ANALYSES PRÉLIMINAIRES

Dans cette première partie, nous présentons une analyse des notions de contenance et de volume. Nous pointons la complexité de leur enseignement/apprentissage. Nous étudions ensuite les instructions officielles sur ces notions.

Difficultés liées à l'enseignement du volume

De nombreux auteurs pointent la difficulté de cette notion qui est souvent « très sous-estimée ». Ils montrent que le concept de volume n'est pas maîtrisé même par certains élèves en fin de collège (Ricco, Vergnaud & Rouchier, 1983).

Le volume d'un objet est souvent défini comme la place qu'il occupe dans l'espace. Son unité de mesure est le mètre cube. Cette définition, souvent donnée à l'école, peut être ambiguë : par exemple le volume d'une feuille que l'on froisse, n'a pas changé lors de cette transformation, or son « encombrement » de l'espace n'est pas le même, ce qui peut conduire les élèves à considérer que son volume est différent. La définition du volume doit être distinguée de celle de la contenance (ou capacité), dont l'unité de mesure est le litre, notamment quand il s'agit d'objets contenant. Or cette distinction n'est pas si simple : la contenance est tantôt définie comme un volume de liquide contenu dans l'objet à un instant donné (combien contient cette éprouvette

graduée ?), tantôt il s'agit du volume maximal que l'objet peut contenir. Lorsqu'on évoque le volume d'un objet contenant, cela peut faire référence à sa contenance (son volume maximal intérieur), au volume de ses parois ou à la somme des deux. Notons que cette question est abordée différemment par la physique et les mathématiques puisque dans cette seconde discipline, on considère le plus souvent des objets idéaux dont les parois ont une épaisseur nulle. Une autre difficulté qui ne facilite pas la distinction volume/contenance est la procédure de mesure du volume par débordement ou par immersion qui conduit à mesurer des volumes en litres, c'est-à-dire mesurer un volume avec les unités des conteneurs.

Si on s'intéresse maintenant de façon plus précise aux difficultés que peuvent rencontrer les élèves dans la construction du volume, on peut se référer aux travaux des psychologues. Piaget et Inhelder (1941) considèrent que les enfants sont capables de reconnaître les situations dans lesquelles la quantité de matière se conserve à partir de 7-8 ans, avant de reconnaître les situations dans lesquelles la masse se conserve vers 10 ans. C'est ensuite vers 11-12 ans que les enfants sont censés devenir conservateurs sur le volume. Une autre difficulté importante, pointée par Piaget, est liée à la dissociation des concepts de masse et de volume (Piaget & Inhelder, 1941). En effet on peut considérer que construire les concepts de masse et de volume suppose entre autres de les dissocier, et qu'un indice de conceptualisation du volume est la capacité à le différencier de la masse. Piaget et Inhelder (1941) considèrent que les enfants sont capables de dissocier masse et volume quand ils comprennent que lorsqu'on immerge deux objets de volume identique et de masse différente dans un même récipient rempli d'eau, la variation du niveau de l'eau ne dépend pas de la masse, ce qu'ils situent vers 11-12 ans. Notons que des recherches plus récentes ont pointé le caractère très voire trop compliqué du dispositif de Piaget pour évaluer le volume (Halbwachs & Bovet, 1980).

Une grandeur liée au volume est la masse volumique. La masse volumique est une grandeur caractéristique de la matière et non de l'objet comme la masse et le volume. Si on considère des objets pleins constitués d'une seule matière, la masse volumique de l'objet est la masse volumique de la matière qui le constitue : c'est sa masse par unité de volume, elle s'exprime en kilogrammes par mètre cube. La masse de deux objets de même matière, donc de masse volumique identique, est d'autant plus élevée que leur volume est important, alors que pour des objets de masse volumique différente (c'est-à-dire de matière différente), le plus volumineux n'est pas systématiquement le plus lourd. C'est cette notion qui intervient, par exemple, dans le phénomène de flottaison, que les élèves expliquent souvent, de manière erronée, par la seule notion de masse. Smith et al. (1992, 1997) montrent que la masse volumique demeure une notion très complexe même au début du lycée et que les élèves ont toujours des difficultés à différencier masse et masse volumique.

Dans cette perspective, d'autres chercheurs ont mis en évidence les difficultés des élèves à raisonner sur plusieurs variables. Par exemple, Viennot (1992) montre que bien que les élèves manipulent en physique des relations impliquant deux grandeurs ou plus, c'est essentiellement comme moyen de calcul et elle pointe que « l'idée de dépendance fonctionnelle à plusieurs variables est peu travaillée. » Elle souligne qu'il s'agit d'une tendance naturelle de raisonnement : « On sait bien, par ailleurs, que déjà les enfants ont une grande inclination vers une pratique réductrice de ce point de vue. Ainsi une relation telle que celle qui lie distance parcourue, vitesse et durée de parcours donne fréquemment lieu à ces énoncés : « plus vite, donc plus loin », « plus vite donc moins de temps », qui figent, ou plutôt ignorent, la troisième variable (Bovet et al., 1967; Crépault, 1981) ».

On peut donc s'attendre à ce que les élèves aient du mal à manipuler et à différencier les trois grandeurs : masse, volume et masse volumique.

Analyse des instructions officielles

La notion de contenance est abordée dès le cycle 1 à partir d'activités de comparaison : « en manipulant des objets variés, les enfants [...] comparent et classent des objets selon leur masse, leur contenance... ». Au cycle 2, les élèves apprennent et comparent les unités usuelles de contenance. Enfin au cycle 3, on retrouve les notions de contenance (ou capacité) et de volume avec une approche essentiellement centrée sur la mesure : « mesure, estimation, unités légales du système métrique, calcul sur les grandeurs, conversions, [...] formule du [...] volume du pavé droit. » (MEN³, 2008a). Concernant le « volume » on constate dans les progressions que c'est essentiellement la notion de contenance qui est travaillée, seule la formule du volume du pavé droit est mentionnée. Dans la partie *sciences expérimentales* du programme, ces grandeurs ne sont pas évoquées mais les élèves doivent les mobiliser régulièrement, par exemple lors du travail sur les changements d'états de l'eau, sur les mélanges et solutions, etc⁴. Au collège, l'enseignement du volume est à la fois à la charge des mathématiques et des sciences physiques (MEN, 2008b). Il est spécifié explicitement que la masse volumique est « hors programme » en physique chimie en 5^{ème}, et cette grandeur n'est mentionnée ni dans les programmes de mathématiques ni dans ceux de physique chimie quel que soit le niveau de classe. Cette grandeur ne figure donc pas au programme ni de l'école ni du collège mais, de façon assez surprenante, elle figure dans la liste des concepts que doivent maîtriser les élèves à la fin de la scolarité obligatoire (socle commun de connaissances et de compétences, MEN, 2006).

ÉTUDE DES PRATIQUES ENSEIGNANTES

Le corpus analysé porte sur la première étape d'un scénario sur l'enseignement de la contenance et du volume proposé en CM2 (classe de 25 élèves) par un enseignant, David, exerçant en zone d'éducation prioritaire. Cet enseignant est expérimenté (au moins 5 ans d'ancienneté) et a une formation en mathématiques. David consacre deux séances de 1 heure aux notions de contenance et de volume. Nous nous centrons sur la première séance dans laquelle David aborde la notion de contenance (8 minutes), puis la notion de volume (23 min). Le reste de la séance et la suivante sont consacrées à des exercices de conversions sur les contenances (sur les litres).

La séance de David

Analyse a priori

Deux tâches sont en jeu dans la séance. Il s'agit de mesurer, lors de la première tâche, la contenance d'un récipient en utilisant un verre doseur puis une éprouvette, et lors de la seconde tâche, les volumes d'un petit ballon, d'un morceau de polystyrène et d'une bouteille en plastique. David annonce aux élèves que la notion de contenance va être travaillée avant celle de volume.

La première tâche consiste à mesurer un volume d'eau contenu dans un bécher que David nomme « grosse bouteille ». Une procédure possible est de transvaser le volume d'eau dans un récipient gradué. Soit le niveau du volume d'eau correspond à une graduation du récipient, soit il se situe entre deux traits. Dans ce dernier cas il est possible d'utiliser un récipient plus précis,

³ MEN : Ministère de l'Éducation Nationale

⁴ Certains manuels de sciences de l'école élémentaire, jusqu'à récemment, proposaient encore des activités sur la notion de contenances.

c'est-à-dire gradué plus finement pour que le volume d'eau corresponde à une graduation, ou d'estimer le résultat par un encadrement. Ces deux procédures expertes peuvent être proposées par les élèves, même si la deuxième est peu probable car elle est en rupture avec un contrat habituel dans les classes (qui est de donner une valeur exacte).

Concernant les élèves, si le niveau d'eau n'atteint pas un trait de graduation, ils peuvent aussi proposer d'enlever ou de rajouter de l'eau pour faire correspondre le niveau à une graduation du récipient mesureur.

Un autre problème est que l'objet choisi (un bécher) est déjà gradué, les élèves peuvent donc suggérer de lire directement le volume d'eau sur ce récipient.

Notons que l'instrument mesureur choisi dans un premier temps est un verre doseur, récipient qui mesure à la fois des contenances et des masses. L'enseignant peut donc mener un travail sur les liens entre masses et volumes⁵.

Les élèves peuvent avoir des difficultés à identifier la grandeur à mesurer. La notion de longueur étant la première grandeur étudiée à l'école, les élèves sont plus familiers avec celle-ci et pour eux, le terme « mesure » devient souvent synonyme de longueur.

Enfin, il est important de remarquer que David demande de mesurer le volume d'eau contenu dans l'objet à un instant donné, et non le volume maximal du récipient, et c'est ce qu'il appelle à ce moment-là, la contenance.

Pour la deuxième tâche, il s'agit de mesurer le volume de plusieurs objets. Les objets choisis sont un petit ballon, un morceau de polystyrène et une bouteille en plastique. Une procédure possible est d'immerger l'objet dans un récipient gradué rempli d'eau. La différence de « volume » avant et après immersion correspond au volume de l'objet. On peut également envisager une seconde procédure correcte par débordement. Le récipient où l'objet sera plongé est rempli à ras bord. L'eau recueillie après immersion de l'objet est mesurée dans une éprouvette (ou un autre instrument de mesure de contenance). Dans les deux procédures, l'élève est censé savoir que le volume de l'objet correspond au volume d'eau déplacé. L'emploi de ces techniques nécessite également d'avoir compris que le volume ne dépend pas de la profondeur à laquelle on immerge l'objet et suppose de faire abstraction du volume de l'objet utilisé pour provoquer son immersion si celui-ci ne coule pas, ce qui est le cas des objets choisis ici. Si le récipient où l'on doit immerger les objets n'est pas gradué, il convient de le graduer pendant la séance en expliquant la procédure (mettre par exemple un volume de 1L d'eau, marquer le niveau et recommencer jusqu'à le graduer entièrement). Cet étalonnage peut participer à la construction du sens de la grandeur, puisqu'il contribue à donner une signification à l'unité de mesure de la grandeur. On peut noter ici, dans le cas « d'objets contenant », que le volume de l'objet correspond à son volume total (volume intérieur et volume des parois).

Parmi les objets proposés, le ballon est creux et la bouteille est un contenant. En termes de mesure de grandeurs, on peut mesurer leur volume mais également leur contenance. Même si David considère la mesure du volume « total » de ces objets, un élève qui ne distingue pas la contenance du volume, peut envisager de les remplir d'eau et mesurer ainsi la contenance au lieu du volume. Il est vrai que si on néglige l'enveloppe de l'objet, cette procédure est acceptable puisque le volume et la contenance seront égaux.

Le fait que ces objets flottent peut engendrer des problèmes techniques même chez les élèves qui semblent avoir compris la consigne. Les élèves peuvent se demander comment ils vont

⁵ Il est possible de montrer que pour un même volume de deux aliments différents la masse est différente ou *vice versa*.

les immerger. Cela peut être réalisé avec une tige, mais également avec la main. Les volumes de ces objets risquent de jouer et peuvent être questionnés⁶.

L'utilisation d'objets qui flottent, peut entraîner les élèves sur la notion de masse, du fait d'une conception erronée du phénomène de flottaison : « il flotte car il est léger ». Confronter des élèves qui ne dissocient pas la masse du volume au phénomène de flottaison, risque de leur faire mobiliser la notion de masse plutôt que celle de volume.

Notons enfin que sur la bouteille est indiqué 1,5L ce qui risque de déstabiliser les élèves à qui on demande le volume de la bouteille alors que la réponse est mentionnée dessus⁷.

Analyse du déroulement

On trouvera en annexe (annexe I) un résumé du déroulement de la séance qu'on analyse. La séance commence par un rappel des grandeurs que les élèves ont déjà étudiées en classe, à savoir les longueurs et les masses et de leurs unités de référence. David annonce que la séance du jour est consacrée aux mesures de contenance et aux mesures de volume, grandeurs qu'ils n'ont pas encore abordées durant l'année scolaire. Notons que David aborde directement ce travail sur les grandeurs par la mesure, sans activité préalable de comparaison.

La séance se déroule de manière collective. Un même élève est au tableau avec David pour l'aider dans la réalisation de ses expériences, les autres élèves sont assis à leur bureau. La partie sur les contenances dure 8 minutes et celle sur les volumes 23 minutes. Le reste de la séance, que nous n'analyserons pas ici, est consacré à des exercices d'application, puis la construction du tableau de conversion des contenances clôt la séance et en constitue la trace écrite. Rien n'est noté sur la partie qu'on analyse, sur les méthodes de mesure des contenances ou des volumes.

Activités des élèves

On sélectionne ici quelques moments de la séance, soit parce qu'ils pointent les difficultés des élèves, soit parce qu'ils nous paraissent significativement révélateurs des apprentissages.

Lors de la première partie concernant les contenances, David demande aux élèves comment mesurer un volume d'eau donné. Un élève propose d'utiliser une règle. On peut penser que pour lui mesurer évoque les mesures de longueurs, et par conséquent l'utilisation de la règle, seul instrument de mesure à ses yeux.

Illies, l'élève qui aide David dans ses expériences, fait remarquer que le bécher est déjà gradué, ce qui peut amener les élèves à s'interroger sur la signification de la consigne car si le bécher comporte déjà des graduations, il est possible de l'utiliser directement pour lire le volume d'eau. L'enseignant évacue le problème en disant qu'ils vont faire comme s'il n'y avait pas de graduations.

Lors du transvasement dans le verre-doseur pour mesurer le volume d'eau contenu dans le bécher, le niveau d'eau est situé entre deux graduations du verre-doseur. Pour résoudre ce problème, les élèves proposent d'enlever ou de rajouter de l'eau pour que le niveau d'eau corresponde à une graduation mais ils ne proposent pas de donner un encadrement du résultat :

⁶ Le volume de la tige peut être négligé. L'ajout du volume de la main fausse la mesure sauf si l'objet est maintenu avec un doigt sous la surface de l'eau.

⁷ On peut du reste s'interroger sur la signification de ce chiffre : s'agit-il du volume d'eau contenue dans la bouteille, s'agit-il du volume de la bouteille si cette dernière est remplie à ras bord, s'agit-il du volume total (parois comprises) ?

D : A peu près un demi litre, alors on n'est pas, comme il vient de dire justement, vous avez peut-être pas entendu, c'est pas sur le trait, qu'est-ce qu'on pourrait faire

E : on ajoute

D : alors si tu rajoutes

E : on enlève

D : ben si tu enlèves [...] je vais pas connaître la quantité.

L'objectif de David ici est de leur faire utiliser une éprouvette, plus précise puisque l'unité de cet instrument est plus petite que celle du verre-doseur (mL au lieu de L), le niveau d'eau devrait correspondre à une graduation. David n'évoque à aucun moment l'idée d'encadrement ou d'estimation de la mesure (à peu près). Pour les élèves, le niveau d'eau doit correspondre absolument à une graduation, on peut attribuer cela à un effet de contrat, mais en proposant d'enlever ou d'ajouter de l'eau, les élèves perdent l'objectif de la tâche, ils ne voient plus le but de l'activité qui est de mesurer un volume d'eau donné. Notons l'emploi du mot « quantité » par David, terme qui à ce moment-là de son discours, n'est pas précis puisqu'il peut faire référence à une quantité de matière, à une masse ou à un volume. L'utilisation de mot ambigu ou imprécis risque d'engendrer de la confusion chez les élèves.

Lors de la deuxième tâche, nous constatons une confusion entre les différentes grandeurs:

* tout d'abord entre contenance et volume. En effet, les élèves proposent de mettre de l'eau dans le ballon ou proposent de « vide[r] l'eau qui a dans le ballon dans l'aquarium ». Les élèves raisonnent sur la contenance au lieu du volume, on notera que l'enseignant, bien qu'il annonce dès le début de la séance qu'il va travailler les contenances puis le volume, ne définit pas clairement les deux grandeurs, ce qui laisse les élèves dans une certaine imprécision. Il est vrai que les élèves négligent peut-être les parois mais rien n'est explicite ;

* puis la confusion volume/masse. « On met de l'eau dans l'aquarium et si le ballon il flotte c'est qu'il est moins lourd que ». A plusieurs reprises (cf. annexe I), les élèves mobilisent la notion de masse, comme discuté dans l'analyse *a priori*. Cette confusion est probablement favorisée par l'utilisation d'objets qui flottent. Par conséquent les élèves se focalisent sur la masse, alors que David a choisi d'étudier les grandeurs séparément, et que par conséquent, sa séance est consacrée uniquement aux contenances et aux volumes.

Difficultés à s'approprier la méthode de mesure.

Les propositions des élèves faites au cours de la séance montrent que la tâche n'est pas comprise par certains. Cela peut être dû aux choix des objets, à la confusion entre les grandeurs. Ces derniers suggèrent des solutions pour mesurer le volume en relation avec ce qui vient d'être réalisé ou dit :

E' : on met des traits dans le ballon

D : j'ai pas compris

E' : on met des traits dans le ballon

D : on met des traits dans le ballon, ça va être facile à faire

E' : non

Précédemment, ils ont lu la contenance avec des graduations, et veulent donc réutiliser cette procédure et ils proposent de mettre des graduations sur le ballon et pas sur le récipient dans lequel on l'immerge. On constate également que l'étalonnage de l'aquarium n'est pas explicité par David qui marque des traits (sans mesurer) sur l'aquarium en disant que c'est « de 2 en 2, de 2L à 10L » puis il remplit l'aquarium d'eau. Ces graduations risquent donc de ne pas avoir beaucoup de sens aux yeux des élèves. Notons que David n'invalide pas la proposition de l'élève

d'un point de vue notionnel mais d'un point de vue pratique, il déclare qu'il ne va pas graduer le ballon uniquement car c'est difficile à réaliser.

Les élèves proposent lors de la séance de faire deux expériences :

* Après avoir mesuré le volume du ballon et du morceau de polystyrène par immersion dans l'eau, une élève propose de mesurer le volume de l'éprouvette en l'immergeant dans l'aquarium :

D : je vais pas pouvoir le mettre dedans parce que tu vois que ça rentre pas dedans

E : non mais debout

D : ah debout si je le mets comme ça

D : oui mais le problème, c'est que tout ne sera pas immergé, cette partie là...

E : ah

D : d'accord là tout l'intérêt c'est de pouvoir tout immerger

L'élève n'a vraisemblablement pas compris comment mesurer un volume par immersion, la procédure utilisée ici ne semble pas avoir de sens pour elle. D'une part, si l'objet n'est pas complètement immergé il n'est pas possible de connaître son volume ; d'autre part, immerger un objet ouvert comme une éprouvette permettra de mesurer le volume de ces parois seulement, ce qui n'est pas explicité lors de la séance. La question de ce qu'est le volume de l'éprouvette se pose ici.

Ces différents extraits montrent que certains élèves remobilisent ce qui vient de leur être présenté sans qu'il n'y ait de construction des notions étudiées ni de compréhension de la méthode de mesure.

* La deuxième proposition est l'expérience sur la dissociation masse-volume. Une élève pense qu'à volume égal, une bouteille pleine déplacera une quantité plus importante d'eau qu'une bouteille vide. Nous reviendrons sur cette activité dans la partie suivante sur les activités de l'enseignant.

Activités de l'enseignant

Tout d'abord, notons que David définit la contenance par un volume d'eau donné à un instant t et non pas comme le volume maximal que peut contenir un récipient. Il est donc amené à utiliser le mot « volume » pour la notion de contenance alors que dès le début il a annoncé qu'il séparerait les notions de contenance et de volume. « *Donc aujourd'hui on va voir une autre unité, on va voir les mesures de contenance. D'accord pour ensuite aboutir sur les mesures de volume, aujourd'hui c'est les mesures de contenance, d'accord.* ».

Lorsque les élèves proposent de mesurer la contenance au lieu du volume du petit ballon, David invalide cette procédure d'un point de vue technique, le ballon peut se crever. Mais il ne fait pas remarquer aux élèves qu'ils parlent de contenance au lieu du volume. On peut s'interroger sur la différence qu'il fait entre ces deux notions : « *là ce qu'on vient de voir donc c'est, d'accord, les mesures de contenance, on a un volume voilà* », « *donc là attention on n'est plus en mesures de contenance, on est sur les volumes, le volume de ce ballon. On a vu l'eau ici, le volume d'eau, d'accord, maintenant je veux connaître le volume* ». Ces propos sont ambigus et manquent de précision. David utilise le mot « volume » pour parler de contenance (et pas seulement pour le volume). Cependant, le fait d'avoir choisi d'étudier successivement les contenances puis les volumes montre qu'il fait une distinction entre ces deux notions et pourtant il conclut que finalement c'est un peu pareil : « *nous ce qui nous intéresse c'est la contenance de cette bouteille ou son volume c'est un petit peu pareil c'est clair* ». On peut se demander si David néglige les parois de l'objet de manière implicite (de par sa formation en mathématiques) ou s'il pense que cette situation est trop compliquée à expliquer aux élèves.

Cet enseignant a fait le choix de séparer les grandeurs physiques, contenance et volume et également de ne pas travailler la masse lors de cette séance. À plusieurs reprises, les élèves mobilisent cette notion lors de la mesure du volume du ballon et du morceau de polystyrène ; David fait remarquer que ce n'est pas le sujet du jour et qu'il ne va pas s'en occuper :

E : parce qu'il est plus léger que le ballon, alors le volume de l'eau va monter

D : attention. Est-ce qu'on utilise ce terme là léger ? Est-ce que moi. Moi ce que je cherche, c'est quoi, c'est savoir quoi, c'est le volume de mon morceau de polystyrène, d'accord, léger, ici le poids je m'en moque complètement, on l'a travaillé avant ça, on en a déjà parlé, moi c'est savoir quel volume il fait, alors pourquoi ça pourrait alors donnez moi un exemple, pourquoi ça pourrait être important d'avoir le volume de ce morceau de polystyrène. [...] Si jamais vous deviez faire par exemple un colis, un colis pour envoyer par la poste si vous connaissez pas à peu près le volume de l'ensemble, ben il faut savoir quelle taille de colis on va acheter, par exemple, vous avez tous déjà envoyé un colis, vous savez quand vous allez à la poste, y a des tout petits colis, des moyens, des grands, des très très grands, il faut connaître quand même le volume de ce que vous voulez envoyer pour pouvoir l'envoyer. [...]

D : donc on revient ici, y a aucun problème de poids [David immerge le morceau de polystyrène].

Pour la première fois dans la séance, David donne une situation concrète de la mesure de volume. Il propose aux élèves une situation de la vie quotidienne dans laquelle la mesure d'un volume est nécessaire. On peut noter que son exemple de colis n'est peut-être pas très adapté, car l'envoi d'un colis nécessite aussi de connaître sa masse. Notons qu'il ne reprend pas l'élève qui utilise la tournure erronée « le volume de l'eau va monter » et qu'il utilise le mot « poids » à la place de masse. Rappelons que la distinction poids/masse n'est pas au programme de l'école mais qu'il est conseillé que les enseignants emploient le terme approprié.

D : attention elle a bien dit le ballon il pèse. Alors attention, est-ce qu'il pèse vraiment, qu'est-ce qu'on cherche nous ?

David semble tellement vouloir séparer la notion de masse et centrer son cours sur le volume que la formulation qu'il emploie ici laisse supposer que le ballon n'a pas de masse.

L'analyse des extraits montre que David veut séparer la masse du volume, mais ceci semble difficile. Il souhaite tout au long de sa séance ignorer la masse, mais on voit bien que cela n'est pas possible par les situations choisies. Le choix des objets a sûrement compliqué la réalisation de la tâche. En effet, l'utilisation d'objets qui flottent oriente les élèves sur la masse.

Dès que David réalise que les objets qu'il a choisis pour les expériences ne sont pas les plus adaptés à la situation, il demande aux élèves d'imaginer ces objets différemment comme par exemple de ne pas se focaliser sur le fait que les objets flottent ou de faire abstraction des graduations du bécher pour la mesure de contenance.

D : pas de chance, j'ai pris la seule bouteille où y a des graduations, alors on va considérer que normalement qu'il y a rien, [...] on s'est fait avoir, donc là j'ai rien du tout oui.

Pour la mesure du volume de la bouteille, les élèves connaissent le volume de la bouteille avant l'expérience puisque c'est indiqué dessus :

E : mais Maître c'est facile de savoir combien elle fait

D : pourquoi

E : ben c'était marqué sur la bouteille

Le problème de la bouteille est très ambigu comme nous l'avons expliqué dans l'analyse *a priori*, à quoi correspond réellement les 1,5L indiqués ? Cette situation aurait pu être exploitée pour définir les deux grandeurs auxquelles est consacrée la séance, pour distinguer la contenance du volume et expliciter le volume des parois, mais cela n'est pas discuté ici.

Une élève pense que la bouteille de 1,5L remplie d'eau déplace plus d'eau que la même bouteille vide. Bien que David déclare ne pas vouloir aborder la distinction masse/volume, il fait l'expérience pour montrer aux élèves que l'eau de l'aquarium atteint le même niveau que l'on immerge la bouteille pleine ou la bouteille vide. Notons que l'expérience qu'il mène pour montrer que l'eau déplacée lors de l'immersion d'un objet ne dépend que de son volume et non de sa masse est similaire à celle utilisée par Piaget pour tester la distinction masse/volume. David conclura « *que la bouteille soit pleine ou vide on aura exactement le même volume* ». C'est le seul moment de la séance où David formule le résultat de la manipulation en termes de grandeur. Durant le reste de la séance, David explicite les problèmes techniques (il a pris un ballon car des boules de pétanques auraient pu casser l'aquarium ou on ne met pas d'eau dans le ballon car il va se crever...), mais les procédures ne sont pas justifiées en termes de grandeurs physiques.

L'enseignant guide énormément ses élèves tout au long de la séance en donnant les procédures à suivre :

* il montre les bonnes graduations du verre-doseur afin que les élèves ne lisent pas les graduations en grammes puisqu'il ne veut pas aborder la masse dans sa séance.

D : alors on va d'abord utiliser celui-là d'accord [verre doseur], alors y a des petits pièges, on va utiliser quelle graduation, c'est pas trop dur [Illies montre] t'es sûr

E : non

D : regarde là c'est les grammes, là c'est

E : les litres

D : je te laisse faire, tu fais attention

* quand il veut que ses élèves utilisent l'éprouvette et que ces derniers, bien qu'ils en aient parlé juste avant, n'y pensent plus, David la leur montre.

* il précise qu'il ne faut pas remplir le ballon, comme ils ont rempli les instruments-mesureurs (verre-doseur et éprouvette) pour les contenances, avant même que les élèves proposent une méthode pour mesurer le volume du petit ballon :

D : alors je prends un petit ballon comme ça. On pourrait très bien mettre dedans la quantité d'eau qu'on va mettre, sauf que le ballon, si je veux savoir la quantité ça va pas être très facile, d'accord, si je le perce, qu'est-ce qu'il va lui arriver.

D : d'accord, il va se crever. [...] d'accord, alors comment je peux connaître son volume.

Notons encore ici l'emploi du mot « quantité », terme qui peut faire référence à une quantité de matière, à une masse ou à un volume.

* David montre que le ballon ne rentre pas dans le verre doseur qu'ils viennent d'utiliser donc l'utilisation d'un récipient plus grand tel que l'aquarium est nécessaire.

Tout au long de la séance, c'est essentiellement David qui parle (85% des paroles appartiennent à David⁸). Il répète les paroles des élèves en les reformulant parfois, il demande après chaque expérience aux élèves, de manière collective, s'ils ont compris : « *C'est clair pour tout le monde ? ; Est-ce qu'il y a des questions sur ce qu'on vient de voir, non ? ; Est-ce que vous*

⁸ Pourcentage calculé en comptant les lignes attribuées aux paroles de l'enseignant et des élèves à partir de la transcription.

avez tous compris l'expérience. Si je le fais avec autre chose, vous allez comprendre, sûr ? ; C'est bon pour tout le monde. » A aucun moment David ne s'assure de la compréhension individuelle en mettant chaque élève en situation. Bien que les élèves répondent par l'affirmative, on ne peut pas savoir s'ils sont capables de mobiliser les notions qui leur sont enseignées. D'un point de vue de la composante médiative, en restant sur un travail collectif, il ne peut s'assurer que les élèves s'approprient les notions abordées dans sa séance et montre ainsi qu'il semble sous-estimer les difficultés et les enjeux liés à ces notions.

DISCUSSION

Des éléments concernant les apprentissages des élèves

Pour apprécier les apprentissages des élèves, nous nous sommes appuyées sur des tests réalisés auprès des élèves en fin d'année pour nous permettre d'estimer le degré de conceptualisation des élèves, sans négliger toutefois les limites que présente ce type de tests. Ces tests ont été élaborés par les chercheurs dans le cadre du projet « transition école/collège ». Ils ont été passés dans l'ensemble des classes participant au projet (ZEP et non ZEP). Ces tests ne sont pas adaptés aux objectifs spécifiques de chaque enseignant. Ici par exemple l'item sur la dissociation masse/volume est posé bien que David ne le travaille pas. Nous donnons ici les résultats à trois questions (cf. annexe II) de ces tests qui sont inspirés des travaux de Piaget sur la conservation du volume, ainsi que sur la dissociation masse-volume. Ils ont été menés dans 14 classes de CM2 dont 8 en ZEP. Il apparaît que les élèves de la classe de David sont globalement dans la moyenne des résultats des classes de ZEP, résultats inférieurs aux moyennes sur l'ensemble des classes. Ils ont des résultats largement supérieurs aux autres classes pour l'item correspondant à la notion de volume (question de l'élévation du niveau d'eau quand on y plonge un objet, traitée en classe) (84% de réussite alors que la moyenne en ZEP est de 52% et 62% pour l'ensemble des CM2) mais inférieurs pour l'item sur la conservation du volume (32% de réussite contre 57% sur l'ensemble des ZEP et 53% sur l'ensemble des CM2). Enfin pour l'exercice sur la dissociation masse/volume, la classe de David est faible, restant dans la moyenne des classes de ZEP et de non ZEP (32% de réussite contre 34% pour les ZEP et 32% pour l'ensemble des classes). Bien que le travail sur l'élévation du niveau d'eau lors de l'immersion d'un objet ait été longuement traité lors de la séance de David, on constate que la notion de volume n'est pas construite par les élèves puisqu'ils ne sont pas conservants sur le volume et qu'ils ne dissocient pas la masse du volume.

Des éléments concernant les logiques d'action sous-jacentes aux pratiques et leurs déterminants

Nous proposons ici de reprendre en termes de déterminants les analyses présentées ci-dessus, c'est-à-dire en tentant d'identifier des éléments des logiques sous-jacentes des pratiques de David. Nous tentons notamment d'apprécier le poids de diverses contraintes qui s'exercent sur les pratiques de l'enseignant : le fait d'exercer dans un établissement d'éducation prioritaire, les ressources dont il dispose (en termes de formation, notamment). Notons qu'il s'agit d'une première étude de cas et qu'il serait nécessaire, pour répondre à toutes ces questions, d'étudier d'autres situations de classe.

D'un point de vue de la composante médiative, chez David, un seul élève est au tableau pour aider l'enseignant dans ses expériences alors que les autres élèves sont assis à leur place. Les tâches de manipulation ne sont pas à la charge des élèves. David n'a pas choisi de les faire

expérimenter. Cette organisation ne favorise ni l'autonomie et l'initiative des élèves, ni l'expression des élèves à l'oral comme à l'écrit. D'un point de vue cognitif, les échanges entre l'enseignant et les élèves sont limités et il n'y a pas d'échanges entre les élèves. La manière rapide et rythmée dont il mène la séance traduit peut-être la volonté de les tenir tranquilles tout en les gardant attentifs, attitude que l'on peut attribuer au fait qu'il s'agit d'une classe en éducation prioritaire. En effet, à plusieurs reprises, on voit que David veut que sa séance se déroule bien d'un point de vue de l'organisation « *n'en mets pas partout* », « *hop là-bas, tu fais attention parce que c'est fragile, fais attention c'est très fragile* », « *remonte ta manche* ». Les recherches sur l'enseignement en zone socialement défavorisée montrent que l'objectif essentiel est la « paix sociale », on peut penser que c'est aussi le cas de David et pour cela il ne met pas les élèves en activité, il ne les fait pas manipuler en groupe (Peltier-Barbier et al., 2004; Charles-Pézard, 2010). Une autre hypothèse est que David pense que faire manipuler les élèves est inutile.

D'un point de vue de la composante cognitive, il ne veut pas aborder la notion de masse mais il choisit des situations où elle intervient sans cesse sans qu'il semble vraiment en avoir conscience (objets qui flottent, exemple du colis). Cet enseignant veut clairement séparer toutes les grandeurs les unes des autres, mais par le choix des objets, les élèves font intervenir des notions qu'il ne souhaite pas évoquer dans cette séance. En effet d'une part, au début de la séance, sur la notion de contenance, il utilise un verre doseur, ustensile approprié pour discuter la distinction masse/volume et d'autre part, pour la notion de volume, il prend des objets qui flottent. Ces situations sont parfaitement adaptées pour relier les deux grandeurs alors qu'il veut justement éviter d'aborder la masse dans cette séance. On note beaucoup d'implicite, d'ambiguïté et d'imprécision dans les connaissances disciplinaires et didactiques de David. Ses explications se font essentiellement sur un plan matériel et non en termes de grandeurs. Il ne semble pas conscient des difficultés des élèves sur ces notions, notamment la dissociation masse/volume, puisque c'est suite à une question d'élève qu'il fait l'expérience, alors qu'il ne semblait pas avoir prévu de l'aborder lors de sa séance. La graduation de l'aquarium qu'il fait lors des activités sur le volume aurait pu conduire à un véritable travail sur le sens de la mesure et de l'étalonnage, enjeu qu'il n'a pas relevé.

Enfin, on peut noter que David choisit de travailler le volume dans un cadre « grandeur » comme défini par Moreira-Baltar Bellemain (Moreira-Baltar Bellemain, 2002; Molvinger, 2013), alors que les instructions pour le primaire se limitent à la formule du volume du pavé droit, c'est-à-dire un travail dans un cadre numérique. Le contenu de sa séance ne s'inscrit pas dans les programmes même si son approche travaille le concept de volume. En se plaçant dans un cadre davantage physique que numérique, on peut penser que l'enseignant veut donner un sens à la grandeur, plus qu'elle n'apparaît dans la formule $L \times l \times h$ du volume du pavé droit (composante institutionnelle : cf. programme de l'école (MEN, 2008a)), même si David n'est pas conscient de l'intérêt de développer d'autres activités que celle de la mesure (comme les comparaisons). Cela ne paraît pas si simple aux élèves durant la séance et d'après les tests.

Cette étude de cas des pratiques enseignantes sur les notions de contenance et de volume analyse les choix d'un enseignant dans la mise en œuvre d'une séance sur ces concepts. D'une part, elle met en évidence que l'enseignant semble ne pas avoir identifié tous les enjeux de ces notions, ce qu'on peut attribuer à un manque de formation en didactique. Une clarification des définitions des deux notions (contenance et volume) ainsi qu'un éclaircissement sur les enjeux de l'enseignement des grandeurs et de la mesure auraient peut-être évité certaines situations ambiguës, notamment avec le mot volume utilisé pour les deux notions. On peut penser, en effet, que ces connaissances auraient permis à David de choisir des situations mieux adaptées (par

exemple éviter l'utilisation d'objets qui flottent pour mesurer le volume d'objets, ou l'utilisation d'un verre doseur alors qu'il veut éviter de mobiliser la notion de masse) ou de les exploiter différemment : par exemple relier les masses et les volumes avec le verre doseur, ou travailler le sens de la mesure lors de l'étalonnage de l'aquarium. D'autre part, cette analyse montre également les difficultés des élèves face à ces notions qui sont souvent sous-estimées par les enseignants. Il est nécessaire d'étendre ces recherches en analysant d'autres séquences de classe pour regarder d'autres pratiques enseignantes. Un certain nombre d'études de ce genre pourrait servir à mieux comprendre les difficultés que peuvent engendrer certaines pratiques enseignantes mais aussi les régularités de ces pratiques. Il semble que seule une formation didactique poussée et réalisée sur le long terme peut permettre aux enseignants de construire progressivement des pratiques plus favorables aux apprentissages des élèves.

RÉFÉRENCES

- Bovet, M., Greco, P., Papert, S., & Voyat, G. (1967). *Perception et notion du temps. Étude d'épistémologie génétique*. Paris : P.U.F.
- Charles-Pezard, M. (2010). Installer la paix scolaire, exercer une vigilance didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 30(2), 197-261.
- Chesnais, A. (2009). Analyse de pratiques d'enseignants – analyse a posteriori de séances. In C. Margolinas et al. (Eds), *En amont et en aval des ingénieries didactiques. Actes de la XV^{ème} Ecole d'Été de didactique des mathématiques*, Clermont-Ferrand.
- Crépault, J. (1981). Étude longitudinale des inférences cinématiques chez le préadolescent et l'adolescent : évolution et régression. *Canadian Journal of Psychology*, 35, 244-253.
- Halbwachs, F., & Bovet, M. (1980). Le poids et la masse en classe de sixième. *Revue Française de Pédagogie*, 53, 4-18.
- Kermen, I., & Barroso, M. T. (2013). Activité ordinaire d'une enseignante de chimie en classe de terminale. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 8, 91-114.
- Ministère de l'Education Nationale (MEN) (2006). *Socle commun des connaissances et des compétences*. Décret du 11 juillet 2006, France.
- Ministère de l'Education Nationale (MEN) (2008a). *Programmes d'enseignement de l'école primaire*, Bulletin officiel de l'éducation nationale. Bulletin Officiel hors série n°3 du 19 juin 2008, France.
- Ministère de l'Education Nationale (MEN) (2008b). *Programmes du collège*. Bulletin Officiel spécial n° 6 du 28 août 2008, France.
- Molvinger, K. (2013). L'enseignement du concept de volume en CM2. In *Actes de la XL^{ème} colloque COPIRELEM*, Nantes.
- Molvinger, K., Munier, V., & Chesnais, A. (2014). L'enseignement de la masse à l'école élémentaire : étude des pratiques d'une enseignante dans une classe de CM2 en éducation prioritaire. *Recherches en didactique des sciences et des technologies* (soumis).
- Moreira-Baltar Bellemain, P. (2002). Une étude comparative des choix de transposition didactique à propos du concept d'aire en France et au Brésil. In J.-L. Dorier et al. (Eds.), *Actes de la XI^{ème} école d'Été de didactique des Mathématiques* (pp. 357-362). Grenoble : La pensée sauvage.
- Peltier-Barbier, M.-L. et al. (Eds.) (2004). *Dur pour les élèves, Dur pour les enseignants, Dur d'enseigner en ZEP*. Grenoble : La pensée sauvage.

- Piaget, J., & Inhelder, B., (1941). *Le développement des quantités chez l'enfant conservation et atomisme*. Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé.
- Ricco, G., Vergnaud, G., & Rouchier, A. (1983). Représentation du volume et arithmétisation-entretiens individuels avec des élèves de 11 à 15 ans. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 4(1), 27-69.
- Robert, A. (2008a). Sur les apprentissages des élèves : Une problématique inscrite dans les théories de l'activité et du développement. In F. Vandebrouck (Ed.), *La classe de mathématiques : Activités des élèves et pratiques des enseignants* (pp. 33-44). Toulouse : Éd. Octarès.
- Robert, A. (2008b). La double approche didactique et ergonomique pour l'analyse des pratiques d'enseignants de mathématiques. In F. Vandebrouck (Ed.), *La classe de mathématiques : Activités des élèves et pratiques des enseignants* (pp. 59-68). Toulouse : Éd. Octarès.
- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : Une double approche. *La Revue Canadienne de l'Enseignement des Sciences, des Mathématiques et des Technologies*, 2(4), 505-528.
- Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9(3), 221-283.
- Smith, C., Maclin, D., Grosslight, L., & Davis, H. (1997). Teaching for understanding: A study of students' preinstruction theories of matter and a comparison of the effectiveness of two approaches to teaching about matter and density. *Cognition and Instruction*, 15(3), 317-393.
- Viennot, L. (1992). Raisonement à plusieurs variables : tendances de la pensée commune. *Aster*, 14, 127-141.

ANNEXE I : déroulement succinct de la séance de David sur les contenances et le volume

1'45 à 3'03 : introduction : rappel sur les autres mesures étudiées dans l'année et leurs unités (masse et longueur). David annonce le programme du jour : contenance et volume (« *on va voir une autre unité, on va voir les mesures de contenances* »). Il demande ce que veut dire contenance. Un élève répond « *ce qu'il y a dedans* ». David demande « *qu'est-ce que ça peut être* ». Un élève répond de l'eau. Une élève demande s'ils font des sciences. David répond que « *les mathématiques et les sciences sont liées* ». Il appelle Illiès, l'élève qui va l'aider dans ses expériences au tableau pendant que les autres élèves restent à leur bureau.

Première tâche :

3'03 à 9'07 : notion de contenance.

David prend une bouteille d'eau et un bécher. Illiès verse de l'eau dans le bécher. David annonce qu'ils vont mesurer ce volume d'eau (pas à ras bord) (contenu dans le bécher que David appelle une grosse bouteille). Les élèves proposent :

- d'utiliser une règle. David est surpris, il prend une règle et demande comment il doit la mettre. L'élève montre la hauteur du bécher. David demande si « *ça va donner le volume d'eau* », l'élève répond que non.

- Illiès fait remarquer que le bécher est gradué. David répond « *pas de chance, j'ai pris la seule bouteille où y a des graduations, alors on va considérer que normalement qu'il y a rien, [...] on s'est fait avoir* ».

- Les élèves proposent d'utiliser une éprouvette (qu'ils ont déjà utilisé lors d'une séance dans le collège du secteur) et un verre doseur pour mesurer le volume d'eau dans le bécher. David montre qu'il y a deux graduations sur le verre doseur, les grammes et les litres mais que eux, ils vont utiliser les litres (guidage de l'enseignant pour éviter la notion de masse).

Finalement Illiès transvase le volume d'eau du bécher dans le verre doseur, le niveau d'eau ne tombe pas sur une graduation. Les élèves proposent d'ajouter ou d'enlever de l'eau. David les incite à utiliser l'éprouvette en la leur montrant. Expérience sur la notion de contenance consiste à mesurer un volume d'eau. David termine cette activité par « *C'est clair pour tout le monde ? [...] Est-ce qu'il y a des questions sur ce qu'on vient de voir, non ? Alors on va faire une chose un petit peu différente* ». On passe à la notion de volume.

9'08 à 9'39 : installation matériel (aquarium)

9'40 à 10'13 : Transition.

David résume ce qu'ils viennent de faire pour mesurer une contenance, il faut donc utiliser un instrument gradué. Maintenant ils vont s'intéresser aux mesures de volume. David utilise le mot « volume » pour les contenances et pour le volume... difficile à suivre pour les élèves alors qu'il est en train de leur dire que c'est différent !

Deuxième tâche :

10'14 à 22'25 : 1^{ère} expérience : le petit ballon

David demande à Illiès d'aller chercher le petit ballon (dans la pièce voisine). David explique dès le début qu'ils ne vont pas mettre de l'eau dans le ballon car le ballon risquerait de se crever, donc il leur demande comment faire pour trouver son volume.

Puis guidage de David qui montre que le ballon ne rentre pas dans le bécher, d'où l'utilisation de l'aquarium (plus volumineux), et là ils demandent aux élèves comment faire pour mesurer le volume. David refait une distinction entre volume et contenance (« *On a vu l'eau ici, le volume d'eau, d'accord, maintenant je veux connaître le volume* »), pas très clair car il utilise encore volume pour contenance !

Les élèves vont proposer pour mesurer le volume du ballon :

- « *on met de l'eau dans l'aquarium et si le ballon il flotte c'est qu'il est moins lourd que* », problème de l'utilisation d'objets qui flottent et qui soulève le phénomène de flottaison et de sa principale conception erronée qui est la masse. David répond que cela n'a rien à voir avec le volume.

- « *on met des traits dans le ballon* ». David demande si « *ça va être facile à faire* ». Il répond d'un point de vue de la réalisation et non pas d'un point de vue notionnel.

- un élève veut vider l'eau contenue dans le ballon dans l'aquarium, confusion avec la contenance : invalidation de David par un problème technique (crevaisson du ballon).

- « *si on met le ballon dans le coin et on met des traits* ». David demande à l'élève s'il va « *mesurer quelque chose* ».

- un élève propose de mettre de l'eau dans l'aquarium et d'y mettre le ballon. Mais il est gêné par le fait que le ballon va flotter. David répond que « *c'est pas un problème de poids, c'est un problème de volume, d'accord, le poids j'utilise une balance, je peux le peser, là on s'en moque je peux appuyer dessus d'accord* ». On peut noter ici l'utilisation du mot « poids » à la place de celui de « masse ».

David gradue l'aquarium de 2 en 2 (sans mesurer).

Ensuite un élève propose de mettre le ballon dans l'aquarium rempli d'eau. Illiès précise qu'il va flotter et donc qu'il va falloir appuyer dessus. Les élèves observent que « *l'eau monte* » quand on immerge le ballon. David précise que c'est le niveau d'eau qui augmente. David va leur demander ce que ça signifie et les élèves vont parler de la masse du ballon. Un élève évoque le problème de la main pour immerger le ballon. David invalide par un problème technique, l'utilisation d'une boule de pétanque aurait pu casser l'aquarium. Un élève calcule le volume du ballon par différence des deux volumes avant et après immersion.

22'26 à 26'38 : 2^{ème} expérience : mesure du volume d'un morceau de polystyrène.

Illiès va tout de suite calculer le volume du morceau de polystyrène par différence des volumes. Mais certains élèves vont encore mobiliser la notion de masse. David va faire référence à une situation de la vie quotidienne : l'envoi d'un colis de la poste (il veut leur montrer l'importance de connaître le volume du colis sauf que dans cet exemple la masse intervient aussi). Il ajoute « *si on veut en mettre deux cents des ballons ben oui, il va falloir un très très grand carton. D'accord. Si tu connais pas déjà le volume de ton ballon* », encore faut-il que les élèves aient acquis que le volume de 200 ballons c'est 200 fois le volume d'un ballon (encore il y a les interstices...).

David précise que la profondeur ne joue pas sur la mesure du volume de l'objet « *ça ne va pas jouer du tout. La seule chose qui change éventuellement c'est sa main parce que sa main évidemment plus elle rentre dans l'eau...évidemment, [...] vous allez voir déjà s'il met sa main seule, ça bouge pas beaucoup* ». Illiès fait l'expérience en plongeant sa main dans l'aquarium.

26'39 à 27'15 : intervention d'un élève qui veut mesurer le volume de l'éprouvette, en la laissant droite, le problème est que toute l'éprouvette n'est pas immergée.

27'16 à 29'18 : 3^{ème} expérience : mesure du volume de la bouteille.

Illies fait remarquer que le volume est connu « *c'est facile de savoir combien elle fait [...] c'était marqué sur la bouteille* ». David montre qu'« *on a vérifié avec notre expérience que ce qui était marqué sur la bouteille était vrai* ».

29'19 à 31'54 : distinction masse/volume (non pensé par David, question d'une élève)

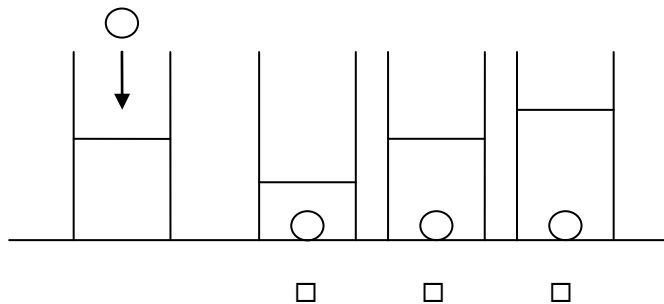
Les élèves pensent que la bouteille pleine déplacera plus d'eau qu'une bouteille vide. David fait l'expérience pour leur montrer que le volume d'eau déplacé est le même que ce soit la bouteille pleine ou la bouteille vide.

Il finit sur « *nous ce qui nous intéresse c'est la contenance de cette bouteille ou son volume c'est un petit peu pareil c'est clair* ». Ici c'est le volume pas la contenance. Il a construit une séance en deux temps, d'abord la contenance puis le volume et il conclut que c'est pareil !

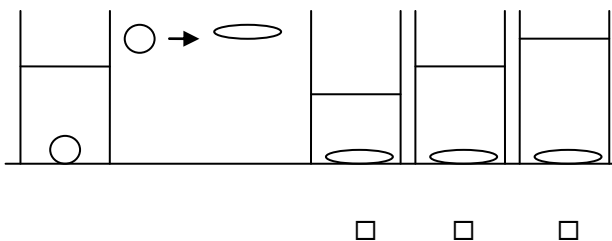
31'54 à 32'30 : conclusion de David : pour les liquides on parle de contenance et pour les solides de volume. « *alors généralement tout ce qui est liquide alors je vous ai parlé de volume de contenance, etc généralement pour tout ce qui est liquide on parle de contenance [...] par contre tout ce qui est solide (polystyrène) on parle de volume c'est clair, alors les liquides c'est facile on prend quelque chose qui est gradué on va tout de suite avoir la graduation. C'est bon pour tout le monde* ».

ANNEXE II : extrait du test

1. Quel sera le niveau de l'eau quand on aura plongé une nouvelle boule de pâte à modeler dans le récipient rempli d'eau ? *Coche la case correspondant à ta réponse en-dessous.*



On plonge une nouvelle boule de pâte à modeler dans l'eau, on repère le niveau de l'eau. On enlève la boule de pâte à modeler, on la transforme en galette et on la remet dans l'eau. Quel sera le niveau de l'eau ? *Coche la case correspondant à ta réponse en-dessous.*



2. Les objets G et H sont deux cubes de même taille. H est plus lourd que G. Avant l'expérience, l'eau était au même niveau dans les deux récipients. On plonge les cubes G et H dans l'eau. Quel est alors le niveau de l'eau ? *Coche la case correspondant à ta réponse en-dessous.*

