

De l'utilité des « expériences de pensée » pour faire flotter les bateaux

par Sabine LASCHKAR (*),

Biologiste de formation, j'ai eu pendant quelques années à enseigner la physique. J'y ai cherché — avec plus de ténacité que s'il s'était agi du savoir constitué que l'on m'avait transmis en biologie — ce que nous appelons les ruptures. Certains parlent du jargon GFEN ; je vais chercher pour vous ce que ça cache. J'ai en fait abordé le cours de physique que je devais faire avec une grille de questionnement nouvelle, un autre regard sur cette discipline ; chercher l'insolite, chercher ce qui détonne avec le savoir sensible, le bon sens. En d'autres termes, ce qui fait l'intérêt d'une connaissance. Rompre avec ce qui se pratique habituellement, ce que j'ai connu dans mes études universitaires de sciences naturelles, où les connaissances s'accumulent tranquillement suivant un empilement très linéaire.

La physique a ses sujets « bateaux ». Par exemple : la notion de masse volumique suivie de la poussée d'Archimède est un grand moment du cours de 5^e ! Tous les professeurs vous le diront, « les élèves ont du mal », comme une sorte de fatalité... Donc... « c'est trop dur ! », et, argument final, « c'est trop abstrait ». La suite montrera que les élèves savent au bon moment — par souci d'économie ? — manier l'abstraction.

Il faut naviguer dans ce cours entre plusieurs écueils, et c'est justement le propos. On peut se lancer dans les manipulations pour faire « découvrir expérimentalement », pour « aider concrètement ». Mais découvrir quoi ? On peut leur expliquer « pour qu'ils comprennent mieux » ! Qu'ils comprennent quoi ?

Ma démarche se fait en deux temps pour que se construisent deux concepts fondamentaux :

- la notion de masse volumique : « Plus lourd, plus léger ? » ;
- la poussée d'Archimède : « Flotte ou coule ? »

(*) *N.D.L.R.* : L'article est issu du Groupe Français d'éducation nouvelle. Il a été initialement publié dans : « Reconstruire ses savoirs (chercher... agir... inventer...), collectif animé par Sabine LASCHKAR et Henri BASSIS, Messidor/Éditions sociales 1985. L'autorisation de reproduction de l'article nous a été aimablement donnée par la Directrice des Éditions Sociales que nous remercions.

QUEL EST LE PLUS LOURD ? ET LE PLUS LÉGER ?

C'est le titre de la première séquence. Je garde le concept pour la phase finale de sa construction. Tout commence par un jeu. Rien de démagogique, si l'école savait utiliser un peu mieux l'énergie fabuleuse que les enfants investissent dans le jeu, elle gagnerait déjà en efficacité.

Nous commençons donc. C'est facile, il faut « deviner », dans le couple de matières proposé, quelle est la plus lourde, et la plus légère. (J'insiste sur l'idée de matière sachant bien que dans certains cas ils auront dans la tête des références à des objets.) J'avais prévu cinq, six couples de matières :

- le pain, le sucre ;
- le bois, le béton ;
- le fer, le plastique...

pensant que les enfants, assez vite, débusqueraient le problème sous-jacent. Il a fallu que je fasse preuve d'imagination, ils ont joué longtemps. Pas tous certes, mais je proposais de nouvelles matières tant que, au moins, un enfant répondait.

En fait, ce jeu fonctionne sur la connaissance intuitive de la densité de la matière. Au début, je propose des « évidences », sauf que nous n'explicitons pas — ni le demandeur ni les répondeurs — nos critères. Le problème n'apparaît aux enfants que pour des matières proches l'une de l'autre. « Le liège, le polystyrène ? » Ils disent : « *On ne peut pas savoir ; il faudrait peser.* » D'autres réflexions resurgissent. Elles n'avaient pas été entendues par tous au début du jeu : « *Ça dépend combien on en prend.* »

Le « combien » étant, comme on le voit, ambigu. Mais il est trop tôt pour lever l'ambiguïté conceptuellement. Alors : « Dites-moi ce qu'il faut faire pour ne jamais se tromper. » De nouveau : « *Il faut peser.* » Eh bien allons-y. » Je sais que ce n'est toujours pas clair, mais maintenant « l'attention au problème » — et non pas au maître — est suffisamment grande pour qu'ils décèlent les nouvelles questions à envisager.

Donc je pèse des matières, non, des objets. Ils redécouvrent ce que cachait la mise en garde du début, « la matière et non pas l'objet », l'expérience se faisant.

Le fer et le granite. Je propose plusieurs morceaux/objets en fer, plusieurs morceaux de granite et ainsi je fais varier à volonté le résultat. Les enfants réalisent qu'un autre paramètre entre en jeu, si l'on veut trouver une loi générale concernant les matières... « *Ça dépend combien on en prend.* » Mais maintenant je veux savoir qu'est-ce que c'est que ce « combien ». Je leur propose

un travail en équipe pour affiner leur idée et aller jusqu'à la validation expérimentale. Expérience qui n'a de sens que si les enfants savent ce qu'ils veulent vérifier. Mais en fait elle n'est pas utile une fois que la formulation de la recherche est trouvée. Souvent, quand une question est bien posée, elle contient sa réponse ; encore faut-il qu'elle soit posée par l'apprenant sinon elle empêchera la mise en situation de recherche nécessaire à tout apprentissage véritable.

La problématique posée par l'Education nouvelle est simple... à condition d'accepter de renverser radicalement la vapeur ! — *Je cherche donc j'apprends* (1). Si j'explique aux enfants, avec la meilleure volonté du monde, dans la petite enfance, j'empêche la fabrication des réseaux logiques qui structurent la pensée, j'empêche les tâtonnements intellectuels qui permettent les mises en relation.

Réfléchissons à ce que propose l'enseignement traditionnel. Une expérience, d'abord, puisque c'est un cours de sciences expérimentales ! Il s'agira de vérifier la définition énoncée : la masse volumique est la masse de l'unité de volume pour une matière donnée. Les élèves ont donc à peser plusieurs morceaux de fer, à en mesurer le volume à diviser l'un par l'autre et... à vérifier dans le tableau qu'ils ont le bon chiffre. Je n'exagère absolument pas. Dans le meilleur des cas ils peuvent trouver ça amusant car ils utilisent une balance, une éprouvette, de l'eau ; mais ils ne comprennent rien au concept de masse volumique. Les définitions tombées du ciel sont incompréhensibles et inutilisables par les enfants. Ce sont des mots mis bout à bout qui ne forment pas sens. Mais du sens ils peuvent en produire...

Revenons aux enfants qui cherchent, ce qu'ils ont dans la tête quand ils disent : « *Ça dépend combien on en prend.* » Toutes les équipes proposent une phrase intégrant les deux paramètres masse et volume. « *Pour comparer deux matières, il faut peser deux morceaux de même grandeur* », mais d'autres groupes parlent de volume, d'autres de taille. Ça permet donc, en situation, alors que la notion est conquise par les enfants, de choisir le vocabulaire approprié. Les mots prennent tout leur sens dans une confrontation permanente entre eux, et avec l'action engagée. Ainsi « volume » ne prend son sens qu'en le comparant à taille, grandeur et surtout masse.

En une heure ils se sont donc construit une formulation opératoire pour répondre à la question « plus lourd, plus léger ? » Pour être franche la manipulation n'a pas dans mon

(1) Voir GFEN, H. BASSIS, *Je cherche donc j'apprends*, Editions sociales, Paris 1984.

esprit valeur de validation. Elle va remplir pourtant plusieurs fonctions. Les enfants pourront aller au bout de leurs idées et, chemin faisant, se construire des savoir-faire pour mesurer des volumes de formes quelconques.

Il faut aussi faire preuve d'imagination concrète pour choisir deux matières à tester. Ceux, par exemple, qui décident de comparer fer et granite ont quelques problèmes pour obtenir des volumes égaux ! Et ainsi l'expérience va jouer son deuxième rôle, provoquer une recherche nouvelle pour résoudre le problème d'impossibilité de découper le fer en classe. La question est ainsi posée à la fin de la première séquence : *« On ne peut pas toujours découper et puis c'est fastidieux comme manipulation pour toutes les matières. »*

Le terrain est prêt pour construire les fondements mathématiques du concept de masse volumique. Ce qui m'intéresse, c'est dégager la notion de grandeurs proportionnelles en situation, et ainsi lier constantes physiques et grandeurs mathématiques. GALILÉE devrait être plus présent dans la tête de nos élèves : *« Le livre de la nature est écrit en caractères géométriques. »*

La deuxième séquence débute apparemment comme une simple manipulation. Pourtant je rappelle la question restée en suspens, et je donne un morceau quelconque de pâte à modeler à chaque équipe avec pour consigne d'en mesurer le plus précisément possible, masse et volume (ils ont à leur disposition des balances, et des éprouvettes graduées et procèdent par immersion des objets).

Nous voilà ramenés au cours traditionnel, me direz-vous ? Il ne faut jamais confondre la forme et le fond. En fait je prépare un problème sans question. Pendant la « manipulation », je prépare un tableau pour recevoir tous les résultats, chaque équipe inscrivant les siens au fur et à mesure. Le tableau se remplit petit à petit et les commentaires ne se font pas attendre. Il y a toujours un groupe ou deux qui font des erreurs de manipulation. Heureusement ! C'est de l'insolite que naissent les questions.

	Équipe 1	2	3	4	5
Masse en gr.	22 g	42 g	90 g	50 g	150 g
Volume en ml.	15 ml	30 ml	150 ml	35 ml	100 ml

« *L'équipe 3 c'est pas possible !*

— Qu'est-ce qui n'est pas possible ?

— *Leurs chiffres sont faux.* »

On n'a pas encore parlé de grandeurs proportionnelles, mais de fait, dans leurs têtes, une « logique » non formulée apparaît. Je leur demande donc d'expliquer ce qu'ils ont compris, puisque effectivement « ça ne colle pas ». Alors tout le monde s'y met ; toutes les remarques sont non seulement permises, mais vivement souhaitées. « Même si vous n'avez pas une explication toute faite, dites à voix haute ce que vous remarquez dans ce tableau de résultats. »

Équipes (2 + 4) : $42 \text{ g} + 50 \text{ g} \simeq 90 \text{ g}$; or 90 g , c'est justement l'équipe 3 et pour le volume $30 \text{ ml} + 35 \text{ ml} = 65 \text{ ml}$ ça ne fait pas 150 ml , si leur masse est juste, leur volume est faux ;

quand la masse est à peu près le double $22 \text{ g} \rightarrow 42 \text{ g}$, le volume est à peu près le double $15 \text{ ml} \rightarrow 30 \text{ ml}$. Donc 150 ml , ça ne va pas ;

c'est vrai pour les résultats des équipes 4 et 5. Mais là c'est à peu près multiplié par trois.

Je leur demande donc maintenant *sans refaire la mesure* du volume faux de trouver la méthode mathématique qui permettra de *calculer* le volume manquant.

La première remarque donnait à peu près 65 ml . « Oui mais si on n'avait pas eu la chance que la somme de deux morceaux fasse l'équivalent du troisième ? Et puis, ce n'est pas très précis d'ajouter des résultats expérimentaux qui ne sont pas tout à fait justes. »

Pendant ce temps chacun suit son idée : ceux qui griffonnent sur une feuille des calculs ; ceux qui fixent le tableau de résultats et font des mises en relation de tête...

Aucun ne se laisse vivre. Ils se prennent au jeu. Et quel jeu, trouver une relation mathématique. Et bien sûr n'en doutez pas, ils trouvent. Que fait le professeur quand les élèves cherchent ? Il cherche, lui aussi, quoi dire, quoi faire pour déclencher des processus mentaux de mise en relation.

Alors je parle d'autre chose. Je rappelle les questions qu'ils se posaient au dernier cours : comment mettre en relation masse et volume sans manipuler forcément ? On veut comparer des matières, mais comparer quoi ?

En général trois ou quatre élèves trouvent en même temps ; la formulation se fait sous forme d'étonnement. « *Quand on divise masse par volume le résultat est presque toujours le même !* »

« Il faut multiplier le volume par un chiffre un peu plus grand que 1 et plus petit que 2 pour trouver la masse », ça, c'est celui qui a fixé le tableau sans toucher un crayon.

Je rappelle le nom « d'opérateur » que l'on donne à ce nombre constant qui relie deux suites proportionnelles. Puis nous discutons de la moyenne à faire entre tous les résultats pour pallier les erreurs de manipulations inévitables avec du matériel peu fiable. Cette grandeur mathématique est donc une *constante* de la matière. Il s'agit maintenant de la nommer : masse volumique. C'est une caractéristique qui met en relation les deux paramètres qui nous intéressaient pour une matière. Ainsi on peut établir un ordre en classant les matières en fonction de leur masse volumique.

Les enfants se sont ainsi construit le concept de masse volumique et le cours suivant sera une situation de réinvestissement pour consolider l'acquis.

FLOTTE OU COULE ?

J'utilise ici, avec mes élèves de 5^e, une situation problème extraite de la démarche d'exploration du concept de sciences expérimentales : un iceberg de 5 000 tonnes ça flotte, une petite bille d'acier de 10 grammes ça coule !

La réponse ne se fait pas attendre. « L'acier c'est plus lourd que la glace. » Mais le professeur soucieux (à tort) décide d'enfoncer le clou : « Dix grammes, c'est une masse plus petite que 5 000 tonnes. » « Mais non, il ne s'agit pas de la bille, mais de l'acier. La masse volumique quoi. » Sous-entendu, les « profs » ça ne comprend rien.

Je pense que c'est un acquis non négligeable en 5^e (treize ans) de manier facilement la notion de matière, dissociée des objets fabriqués avec. Ils sont ainsi sur la voie de la compréhension physique d'un certain nombre de phénomènes. Ils ont donc, dans un premier temps, su faire « une » utilisation de cette grandeur caractéristique de la matière qu'est la masse volumique. Mais ça ne suffit tout de même pas à expliquer pourquoi il y a des corps qui flottent et d'autres qui coulent !

Des élèves se mettent à citer des matières qui flottent et d'autres qui coulent. On parle des matériaux qu'ils ont spontanément utilisés pour construire le radeau (modèle réduit) pour un concours auquel ils ont participé : liège, bois, polystyrène, bouteilles plastiques pleines d'air.

Un élève : « On peut regarder le tableau des masses volumiques ? »

Bien sûr ! Quand un élève sait pourquoi il ouvre un livre, la recherche en vaut la peine. Nous n'avions pas parlé de la masse volumique des liquides.

L'élève : « *Puisque la masse volumique de l'eau c'est 1, tout ce qui est plus grand que 1 ça coule, les autres ça flotte.* »

Les autres vérifient son postulat avec des matériaux qu'ils connaissent : « *Ça marche, c'est vrai.* » Ne vous y trompez pas, ils n'ont pas bougé de leur chaise, rien touché, rien manipulé ; seuls leurs yeux parcourent le tableau. Leur tête suffit pour faire référence à toutes les expériences de vie qu'ils connaissent.

Quand je pense que plus d'un adulte dans la démarche « sciences expérimentales » demande à l'animateur des glaçons, une bille d'acier, de l'eau pour vérifier !

Ils s'intéressent en passant au problème de la masse volumique de la glace, en d'autres termes de l' « eau gelée » inférieure à celle de l'eau... Il suffit simplement de mettre en relation l'augmentation de volume de l'eau qui gèle et le rapport masse/volume de la masse volumique. Quand on divise la masse (qui ne change pas lors de la congélation) par un volume plus grand, le résultat est plus petit.

Si la situation de la bille et de l'iceberg ne suffit pas pour enclencher la recherche qui mènera à la résolution du problème, je peux à certains moments sortir des « lapins de mon chapeau ». En guise de lapin, un bocal, tout prêt, contenant de l'alcool transparent, un autre de l'eau, puis y plonger devant les élèves des glaçons. Histoire sans parole. L'un coule et l'autre pas ! L'effet est assuré et aussi — c'est tout aussi important — le déblocage du problème. Donc, flotte ou coule, est un problème entre la masse volumique d'une matière, et celle du liquide d'immersion. Voilà une première étape franchie pour la compréhension du problème « flotte ou coule ? » ; mais il existe d'autres paramètres !

Je ne leur laisse pas le temps de réfléchir et je lance la discussion sur la flottabilité du corps humain. On constate tous qu'il suffit d'un rien pour que nous flottions (par exemple s'allonger sur l'eau : augmenter la surface portante), et qu'en tout état de cause on ne coule jamais, même vertical, on remonte (si vous n'êtes pas convaincus allez essayer dès demain à la piscine). Et puis les plongeurs en scaphandre autonome ne sont pas fous, s'ils rajoutent des plombs, ce n'est pas pour rien !

« Assez discuté, on passe à l'action. Vous vous souvenez, la masse volumique de la pâte à modeler est à peu près $1,5 \text{ g/cm}^3$. Il doit s'en falloir d'un rien pour la faire flotter ? Allez-y. »

Remue-ménage ; les équipes s'organisent, mais chacun essaye. Les techniques sont diverses et je me ballade d'un groupe à l'autre : j'observe. Et, bien sûr, je relance à haute voix toutes les remarques que j'entends, et surtout je « dévoile » tous les trucs essayés. Il s'agit là, tout en permettant le tâtonnement de chacun, d'accélérer les découvertes par la dynamique générale de la classe.

L'ambiance est vive. On s'amuse des tentatives des uns et des autres. Mais chacun essaye quand même, en pensant peut-être qu'on aura plus d'habileté que l'autre pour poser si délicatement la « fine galette » sur l'eau qu'elle flottera. C'est la première tentative, réinvestir l'idée de « plus grande surface portante ». Mais ça ne marche pas ! (Exceptionnellement pourtant ça peut flotter — en fait ce sera grâce à la tension superficielle du fait que la matière est grasse.)

Alors on essaye les petits bouts. On sait bien pourtant que ce n'est pas une question de masse mais de masse volumique ; ça ne fait rien, on essaye, les miracles ça existent, non ? Non, le miracle ne se produit pas ainsi.

On cherche autre chose. Quelques-uns commencent à relever les bords de certaines galettes. Ça ne flotte pas encore, mais on y croit. On cherche « un seuil » à partir duquel ce nouvel objet flotte. Au fait, en passant près d'un élève qui vient d'obtenir satisfaction avec un objet du type coquille de noix, je lui demande ce qu'il a réalisé ? « *C'est un panier, Madame.* »

Alors là, stupeur de ma part ! Les élèves m'étonneront toujours. J'ai dû répondre, après avoir écarquillé les yeux : « Oui, enfin c'est un casque retourné. » Et puis les élèves partent vite à ces jeux et ils se mettent à citer tous les objets qui ont cette forme : un saladier, une demi-peau d'orange bien découpée ; enfin tout... presque tout ! Non quand même, il y a un élève pour avoir pitié du pauvre « prof » bien rationnel et il dit : « *Oui, bon, c'est un bateau.* »

Le « délire » était passé. Mais je pense qu'au-delà de l'anecdote, ils se sont construit le concept du bateau beaucoup plus sûrement dans cette diversité. Dans une autre classe, je demandais aux élèves construisant le même type d'objet : « Tiens, pourquoi ça flotte ça ? » L'élève de me regarder étonné : « *Parce que c'est un bateau !* » « Oui, mais pourquoi un bateau ça flotte ? » Quelle question ! Mais parce qu'un bateau c'est fait pour flotter. En voilà des questions de « prof » !

Ne vous moquez pas, les adultes aussi sont très forts pour croire qu'il suffit de donner un nom aux choses pour que ça en prenne les caractéristiques. A propos du vélo, dans un stage

adultes : « Pourquoi le système de pédalier, pignon, etc. fait qu'on avance plus vite ? » « Eh bien parce que c'est un vélo ! » Eh oui. Les élèves ne sont pas les seuls à garder des restes solides de pensée magique.

Nous voilà donc revenus au problème précédent. Ce n'est pas le tout de faire flotter la pâte à modeler. Pourquoi flotte-t-elle, alors que sa masse volumique la prédispose à couler dans l'eau ? L'apport théorique nous est venu d'un groupe, isolé, ne faisant ni petit bout, ni galette, ni bateau. Pour tout dire, apparemment ils ne faisaient rien. Ils sont deux garçons, pas des plus « actifs » habituellement, ils observent la bassine pleine d'eau et la pâte à modeler. Ils n'y touchent pas. Je passe les voir, je ne suis pas inquiète, je sais que les expériences peuvent se faire dans la tête : « Alors, c'est quoi votre idée ? » L'un me dit tranquillement : « *On cherche ce qu'il faut enlever à la pâte à modeler pour diminuer sa masse volumique.* » Je leur demande donc ce qu'ils veulent tenter. « *On cherche... parce que enlever un bout ça ne change pas la masse volumique donc ça ne sert à rien.* » Je sens que tout se passe dans leur tête, ils ne toucheront à rien tant qu'ils n'auront pas débloqué le problème conceptuellement. Je quitte la table et leur dit simplement en partant : « Si vous ne pouvez pas enlever vous n'avez qu'à ajouter. » Instantanément le déclic se fait, ils vont dans le laboratoire, rapportent un morceau de liège et posent la pâte dessus. Mission accomplie. Tout le monde maintenant travaille à la formulation de son expérience. Les deux garçons dont je viens de parler sont bien sûr les premiers à rédiger. Tout est en place dans leur tête.

« *Pour faire flotter la pâte à modeler, il faut lui ajouter quelque chose qui fasse diminuer la masse volumique de l'ensemble.* » Ces deux garçons sont ceux que l'on qualifie au conseil de classe de « non conceptuels » ; ceux qu'il faut orienter vers un travail manuel parce qu'ils ne comprennent rien ! C'est dans ces moments-là que la bataille que nous menons prend toute sa valeur. Oui, ils ne comprennent rien, parce que « expliquer, c'est empêcher de comprendre » !

Ma démarche à l'égard des enfants n'a rien de compliqué. Tout le monde peut le faire, pour n'importe quel niveau d'âge. Mais il faut s'arracher une vieille peau, il faut avoir le courage de penser et de dire seul un certain nombre de choses. Plus si seul tout de même, l'extraordinaire devient valeur courante dans les classes d'Education nouvelle ! Mais ce qui nous caractérise c'est de nous émerveiller chaque fois ; et j'ai été bouleversée par la capacité de conceptualisation de ces deux garçons qui ne disaient jamais rien. Parce qu'il faut être solide dans ses convictions et ses pratiques pour ne pas se laisser atteindre par le leitmotiv lancinant de certains professeurs défaitistes.

Apprenons à donner du temps à nos élèves. Nous-mêmes, combien de temps nous faut-il pour mettre en pratique des décisions prises, ou simplement pour croire que nous serons capables de réaliser telle ou telle chose. Il en va de même pour les enfants qui subissent une éducation normative, docilisante, infantilissante qui finit par bloquer tous les réseaux neuroniques permettant leur réflexion libre. Parce que ce n'est pas en manipulant de la pâte à modeler que l'on comprend quelque chose à la poussée d'Archimède, c'est en menant une opération mentale abstraite sur ce que l'on vient de réaliser. Et ça n'a rien à voir avec les dons ! Il est question ici d'apprentissages, au sens piagetien, donc affaire d'éducation. C'est pour ça que je dors mal la nuit quand des enfants n'ont pas « compris », n'ont pas résolu une situation problème. C'est moi enseignant/chercheur qui dois trouver, mais avant, comprendre la démarche adéquate pour lever le blocage. En quelque sorte, je n'ai pas stimulé « les bons » réseaux nerveux ou « suffisamment » pour que l'enfant construise sa réflexion.

Revenons à nos bateaux et à la formulation/conceptualisation des équipes. Les autres équipes avaient bien mis en relation l'apport de l'air dans le bateau et la flottabilité, mais la formulation des deux copains menait à une compréhension générale du phénomène. Leur phrase apporte deux choses fondamentales : *si quelque chose ne flotte pas eh bien rajoutez de la matière* (c'est déjà une sacrée rupture), pas n'importe quelle matière. Il faut travailler sur le rapport masse volume de l'ensemble ; dans le bateau, c'est donc de l'air qui a été ajouté : une masse petite avec un grand volume. D'où leur recherche de seuil de hauteur des rebords qui prend toute sa valeur.

Voilà donc « démasqué » à leurs yeux le secret de ces énormes paquebots qui flottent. Tout est en place pour construire la notion de poussée d'Archimède. Il faut donc maintenant laisser de côté les objets flottants pour généraliser à tout corps plongé dans un liquide, ce qui se passe. Une loi générale est à construire au-delà du cas particulier des corps flottants. Mais je crois qu'il faut commencer par eux, car ils permettent bien de travailler sur le rapport masse/volume et au niveau conceptuel les enfants arrivent mieux à séparer « masse » de « flottabilité ». (Bien que dans la situation suivante certains mettront de nouveau en relation masse et poussée d'Archimède.)

Dernière séquence : il s'agit de comprendre comment le liquide d'immersion agit sur les objets. Je m'installe en début de séance devant les élèves avec un très grand bocal d'eau transparent et de multiples objets à portée de main. La séance n'est pas laissée au hasard, j'ai « préparé » du matériel.

Je plonge plusieurs objets, de formes, de masses, de matières, de volumes différents. Tous coulent. Donc, cette fois l'eau ne les « porte » pas ? Et pourtant regardez bien... J'accroche un des objets à un ressort muni de points de repères pour mesurer son allongement (sans ressort on peut utiliser un élastique solide ou un instrument sophistiqué appelé dynamomètre, qu'on utilisera comme ressort simple). L'allongement dans l'air est plus grand que l'allongement quand le corps est immergé dans l'eau. « Donc l'eau agit quand même sur eux ? » Premier étonnement et chacun se souvient des différentes expériences personnelles relevant du même phénomène. Et on entend dire qu'effectivement Pierre arrive à porter Christian dans la piscine alors qu'il n'y arrive pas dans l'air, etc.

Je demande aux élèves d'expliquer ce phénomène qui rend les objets plus « légers » dans l'eau. Si les enfants se sont bien construits la notion de grandeurs proportionnelles avec la masse volumique, il n'y a aucun problème à leur dire que les allongements du ressort sont proportionnels aux masses qu'on y accroche. Ils parlent de « force de l'eau », « elle retient les objets », « elle les empêche de tomber » ; et pourtant ils coulent ; « elle n'a pas assez de force pour les empêcher de tomber vraiment ».

Vous vous en doutez, ce dialogue se passe dans un bouillonnement difficile à traduire par des mots. Parce que les enfants font beaucoup de gestes et moi aussi. Par exemple, je prends un crayon et je le lâche... Il tombe. « Qui est responsable ? » Chœur de la classe : « Eh bien vous, vous l'avez lâché. » « Et alors pourquoi ne tient-il pas tout seul en l'air ? » — « Oui, c'est l'attraction terrestre. » Alors on mime, on exagère les cartables trop lourds, on revient au ressort, c'est parce que les objets sont attirés par la terre qu'il s'allonge : c'est le *poids* de l'objet. Oh merveille ! enfin un cours où l'on a le droit de dire poids. Vous ne connaissez peut-être pas tous, l'angoisse du professeur de sciences qui doit faire utiliser le mot masse et non pas le poids à ses élèves ! (La masse ne dépend que du corps considéré ; le poids est une force due en première approximation à l'attraction terrestre sur ce corps). *Damned*, quand mon cartable est lourd, se dit l'élève, est-ce parce que j'ai trop mis de matières, ou parce que l'attraction est grande ? Bref, voilà des sources d'insomnie.

Avec force gestes, les enfants expliquent qu'il y a une lutte (explications toujours entachées d'anthropomorphisme même à douze/treize ans) entre le poids de l'objet et la force de l'eau. A ce moment-là, je signale le nom que l'on donne à cette force — la poussée d'Archimède — avec un peu d'histoire des sciences à propos de la découverte d'Archimède.

Tous les fils ne se renouent pas encore. Visiblement cette force a un rapport avec les objets flottants ; mais alors de quoi

dépend-elle, puisqu'elle agit toujours mais ne fait pas flotter tous les corps ? Les élèves sont invités individuellement à répondre à la question : « D'après vous, est-ce que la poussée d'Archimède, qui s'exerce sur un objet est toujours la même, sinon de quoi dépend-elle ? »

Tous ont un avis. C'est un analyseur important. Aucun n'est en échec, il ne s'agit pas — jamais — de donner *la* bonne réponse, mais d'exprimer ce que l'on pense. Les croyances ont droit de cité, dans un premier temps. Après on peut réfléchir, *si tout le monde n'est pas d'accord*, à comment se convaincre. Cette donnée est importante dans une classe où le problème n'est plus jamais posé en terme maître/élève ; si tous les élèves sont d'accord entre eux sur un point, ils n'ont pas envie de le prouver, de le valider. Il faudra, alors, que le professeur adopte une autre stratégie pour faire se déconstruire une idée fautive au profit d'une autre.

Ce jour-là, les théories sont suffisamment diverses pour qu'ils se regroupent (quatre groupes différents) d'abord, puis élaborent une expérimentation :

- ça ne change jamais quand un corps coule (sous-entendu, il y a deux poussées, une qui fait flotter certains corps, une pour tous ceux qui coulent) ;
- ça dépend de la masse volumique des objets ;
- ça dépend de la masse ;
- ça dépend du liquide (certains savent que l'on flotte mieux dans la mer que dans la piscine).

Le premier groupe n'est composé que de deux élèves, qui testent assez vite avec plusieurs objets que la différence d'allongement du ressort quand l'objet est dans l'air puis dans l'eau n'est pas toujours la même. Comme ils ont du temps, ils prennent aussi des corps flottants et constatent que l'allongement du ressort est nul dans l'eau. (Certes ils auraient pu y penser !) « Donc le poids de l'objet est exactement compensé par la poussée d'Archimède. Eh oui, c'est pour ça que ça flotte. » Voilà une découverte, ils préparent leur affiche. (2).

Les groupes 2 et 3 se démultiplient car ils sont nombreux. Ils ont du travail en perspective. Ils s'organisent.

Le groupe 4 veut tester deux liquides différents avec le même objet. Je n'ai que eau et alcool à leur proposer. Je les invite à faire des mesures les plus précises possible, je sais que la différenciation va être difficile et pourtant ils ont une bonne

(2) Tous les rapports se font sous forme d'affiche.

idée ! Mais voilà : en fonction de l'instrumentation une expérience n'apporte pas toujours la vérité. Pour l'histoire, il faut savoir tout de même qu'on a prêté à GALILÉE des expériences qu'il n'a absolument pas *pu* faire. Toutes les expériences de vitesse de chute des corps ou même la mesure de la régularité d'oscillation du pendule,... la montre à quartz n'existait pas, il n'avait pour tout instrument de mesure du temps que son pouls, ou la clepsydre ! (3) Effectivement la différence de masse volumique entre l'eau et l'alcool n'est pas significative (respectivement 1 g/cm^3 et $0,89 \text{ g/cm}^3$) pour obtenir une différence avec des « petits objets ». (Pour ceux qui ne savent pas de quoi dépend la poussée d'Archimède, ne vous impatientez pas, vous trouverez l'explication un peu plus loin de ce que pourrait apporter l'expérimentation sur autre chose que des « petits objets ».)

Venons-en à ceux qui testent si la masse volumique influence la poussée d'Archimède. J'avais, souvenez-vous, « préparé » du matériel. C'est-à-dire qu'au moment où les équipes viennent demander ce dont ils ont besoin j'ai dans mon « chapcau » des objets qui vont leur poser problème. « *Nous voulons des objets faits dans des matières différentes.* » Je leur fournis donc plusieurs objets de masses volumiques différentes. Certains ont des volumes quelconques, mais d'autres le même volume. Et moi, le « prof », je sais... Mais bien sûr rien ne sert de leur dire mais non, vous avez oublié un paramètre, le volume.

Il fallait donc que je trouve un mode d'intervention questionnant. Les voilà donc à mesurer pour chaque matière la différence d'allongement du ressort dans l'air et dans l'eau. Leurs résultats leur posent problème ; ils m'appellent et me font part de leur étonnement. « *Voilà, ça marche pour ces trois-là, mais pas pour les deux autres.* » J'avais donné, sans leur dire, trois objets de masses volumiques différentes certes, mais aussi de masses différentes et aussi de volumes différents ; la poussée qu'ils reçoivent est différente. Et pour les deux qui avaient même volume, la poussée est la même.

J'interviens d'abord pour ces deux derniers. « *Tiens qu'ont-ils de commun qui pourrait expliquer qu'ils reçoivent la même poussée ?* » Alors qui croire, pour la conclusion, les trois premiers objets qui vous arrangent bien, ou ces deux-là qui vous ennuient ? Ces trois-là, soit dit en passant, ils reçoivent peut-être une poussée différente parce que la masse volumique est différente, mais ils n'ont pas la même masse, ils n'ont pas la même taille non plus. »

(3) Voir A. KOYRÉ, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Galilimard, Paris 1973.

Parce que l'histoire de « il ne faut faire varier qu'un seul paramètre en même temps dans une expérience pour pouvoir tirer une conclusion », ce n'est pas vraiment la première chose à laquelle pensent les élèves. Pensez-vous vraiment qu'il faut le leur dire avant ? Non, vous êtes comme moi, vous l'avez déjà dit pour rien. Alors ?

Eh bien je les laisse cogiter un peu, et vais vers une autre équipe. Ceux qui se débattent avec le problème de la masse ont exactement le même problème. Parce que j'avais préparé des objets de même masse et de volumes différents et inversement.

L'équipe 2 (masse volumique), pour en avoir le cœur net, décide de prendre deux objets différents dans la même matière. Leur idée : ça va être la même poussée. Perdu. La poussée d'Archimède n'est pas fonction de la masse volumique. Oui mais alors de quoi ? Parce que l'équipe 3 dit que ça ne dépend pas de la masse non plus : masse égale/poussées d'Archimède différentes !

Ne vous inquiétez pas, il y a toujours un élève pour voir qu'à chaque fois que deux objets reçoivent la même poussée, ils sont de « tailles » à peu près identiques. On reprécise *volume*, puis on vérifie. On peut même ensuite montrer par plusieurs mesures que la poussée d'Archimède dans un liquide donné est proportionnelle au volume immergé. Voilà pourquoi dans l'eau et dans l'alcool, si on avait d'assez grands récipients et d'assez grands volumes à tester, la différence serait plus significative.

Ça y est, les fils se renouent. On peut réaborder les corps flottants sous un autre angle. Par exemple reprendre l'exemple du bateau qui flotte parce qu'on a additionné une quantité d'air au matériau de fabrication. Mais chacun sait que le bateau ne coule pas quand on le charge. Pourtant la cale se remplit et la quantité d'air diminue. Mais aussi plus le bateau est chargé, plus il s'enfonce dans l'eau ; le volume immergé augmentant, la poussée d'Archimède qu'il reçoit augmente et va donc compenser la surcharge de poids. Il y a un seuil à ne pas dépasser, au-delà duquel le poids trop grand ne peut plus être compensé par la poussée d'Archimède. Ce seuil peut se calculer puisqu' « on sait » que la poussée d'Archimède est égale au poids du volume d'eau déplacée par la partie immergée. Le volume immergeable est fixe, donc tout dépend à un moment du poids du corps.

Voilà..., impression de déjà lu, pensent certains ? Oui, il faut savoir que nous représentons un véritable collectif de recherche, où les idées vont et viennent de l'un à l'autre sans qu'on ne sache plus dans quelle tête elles ont pris naissance. Elles ont germé partout...

Vous retrouverez Archimède au fil des pages de ce livre (*). Et loin de représenter un appauvrissement du texte, ces différentes facettes de la construction d'un concept fortifieront l'idée de la multiplicité des cheminements.

Archimède, de la maternelle à la formation continue des adultes... A chaque fois l'auteur vous fera prendre sa lunette grossissante. Il s'agit pour nous éducateurs de se reconquérir des droits et des pouvoirs sur le Savoir, donc la « place du sujet » dans la construction de son savoir.

(*) *N.D.L.R.* : Voir note en bas de page 1147.