

L'AIR DU CYCLE 1 AU CYCLE 3

Jean-Michel ROLANDO

IUFM de Grenoble, site de Bonneville

Groupe Départemental « Enseignement des Sciences à l'École » de Haute-Savoie

La matière : un concept intégrateur

De nombreux arguments justifient l'enseignement des sciences expérimentales à l'école. Nous développons et illustrons ici l'un d'entre eux. Face à l'ensemble complexe des informations de toutes sortes qu'il reçoit, l'enfant doit (seul ou à l'aide des différents partenaires de son éducation), construire des outils qui lui permettent non de les juxtaposer (faute de quoi elles resteraient volatiles), mais de les intégrer en les hiérarchisant et en les mettant en cohérence. À ce titre, l'apprentissage de certains concepts joue un rôle central. Qualifiés de "concepts intégrateurs" par les didacticiens, ils constituent en quelque sorte le "ciment intellectuel" qui permet l'intégration d'une nouvelle information, donc l'enrichissement du système cognitif. De tels concepts sont en petit nombre, et on suppose que penser les objectifs généraux de l'enseignement scientifique en termes de concepts intégrateurs évite la dispersion et contribue à doter l'apprenant d'une autonomie intellectuelle durable. L'un des concepts intégrateurs des sciences physiques est celui de "matière". Sa construction complète suppose de conceptualiser l'état gazeux et, en premier lieu, l'air.

Un objectif : la matérialité de l'air

L'air n'étant pas directement perceptible, on doit s'attendre à quelques difficultés pour que l'élève reconnaisse qu'il s'agit de matière. C'est en fait bien plus qu'une difficulté. Lorsqu'une connaissance doit se construire **contre** une caractéristique du fonctionnement psychologique de l'enfant (il s'agit ici du primat de la perception), on parle d'obstacle psychogénétique. Dans le cas qui nous occupe, l'enseignement contribue plutôt à conforter cet obstacle en accordant généralement trop d'importance à ses "non-propriétés" (l'air est incolore, inodore, invisible, imperceptible...).

La trame conceptuelle : un outil pour organiser l'apprentissage dans la durée

L'un des objectifs généraux pourrait donc être d'œuvrer à la construction du concept d'air. Cela suppose une analyse préalable menée avec le souci d'identifier la logique d'ensemble de cette construction conceptuelle. Nous proposons la trame ci-dessous que nous pensons

pertinente de l'école au collège. Elle n'est pas à considérer comme une liste exhaustive de propriétés qu'il faudrait traiter, mais comme un outil dont disposent les enseignants pour choisir des objectifs cohérents et complémentaires dans la perspective d'une construction dont l'achèvement est à envisager sur le long terme. Son efficacité sera accrue si les différents partenaires travaillent en concertation.

Compte tenu de l'obstacle discuté dans le paragraphe précédent, il convient d'accorder la priorité à la première colonne de ce tableau : l'air possède les propriétés générales de la matière.

L'air est de la matière.	L'air est un gaz.	L'air est un gaz particulier.	Il existe d'autres gaz.
Il possède à ce titre les propriétés générales de la matière	Il possède à ce titre toutes les propriétés de l'état gazeux.	Il possède des propriétés spécifiques que ne possèdent pas les autres gaz.	Ils possèdent eux aussi des propriétés spécifiques, que ne possède pas l'air.
<ul style="list-style-type: none"> • Il peut changer d'état (air liquide) → Il se déplace. → Il se conserve. → Il est pesant. • Il se dilate. • Sa densité dépend de la température. → Il interagit avec d'autres matières. Il exerce des forces. 	<ul style="list-style-type: none"> → Il n'a pas de forme propre. • Il occupe tout le volume dont il dispose. → Il est compressible, expansible, élastique. • Il se caractérise par une pression, un volume, une température. 	<ul style="list-style-type: none"> • C'est un mélange de gaz. • Il entretient les combustions. → Il permet la respiration. • Il est légèrement soluble dans l'eau. • C'est un isolant thermique, phonique et électrique. → Il est incolore, inodore. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le gaz carbonique n'entretient pas les combustions, ne permet pas la respiration. Il est plus dense que l'air. • Le butane est odorant¹, combustible, explosif s'il est mélangé à de l'air. <input type="checkbox"/> Le dioxyde d'azote, la vapeur d'iode sont des gaz colorés.
<p>Légende : les différentes propriétés ont été repérées de la façon suivante.</p> <ul style="list-style-type: none"> → Peut faire l'objet d'un travail structuré dans un des cycles de l'école. • Peut être évoqué à l'école (notamment au cycle 3) à propos de l'étude d'un autre sujet. <input type="checkbox"/> Ne semble pas pertinent au niveau de l'école. Propriété davantage adaptée au collège. 			

Nous allons développer quelques exemples dans chacun des trois cycles de l'école.

Cycle 1 : prise de conscience de l'air lorsqu'il est en mouvement

Les seules propriétés de l'air pouvant être abordées à l'école maternelle sont celles qui donnent lieu à des manifestations directement perceptibles. On peut envisager quelques exemples au demeurant fort classiques.

¹ - Précisons que les gaz couramment utilisés dans l'usage domestique (méthane encore appelé gaz naturel ou gaz de ville, butane, propane) sont intrinsèquement inodores. C'est un additif, rajouté pour des raisons évidentes de sécurité au moment de leur conditionnement ou de leur distribution, qui leur donne leur odeur caractéristique. Au niveau de l'école, on peut sans doute prendre le parti de présenter ces gaz comme odorants.

Le vent est prétexte à quelques constructions (manches à air, girouettes, moulinets, ...). Il est intéressant de faire tourner son moulinet en le présentant au vent ou à un courant d'air (sèche-cheveux) mais aussi en courant dans l'air immobile.

Les jeux d'eau sont l'occasion de faire des bulles. Cela peut être avec sa bouche en soufflant directement dans l'eau ou par l'intermédiaire d'une paille. Les récipients en plastique souple sont également intéressants.

Que ces activités soient menées en ateliers ou intégrées au projet de la classe, il importe qu'une composante scientifique soit présente dès le cycle 1.

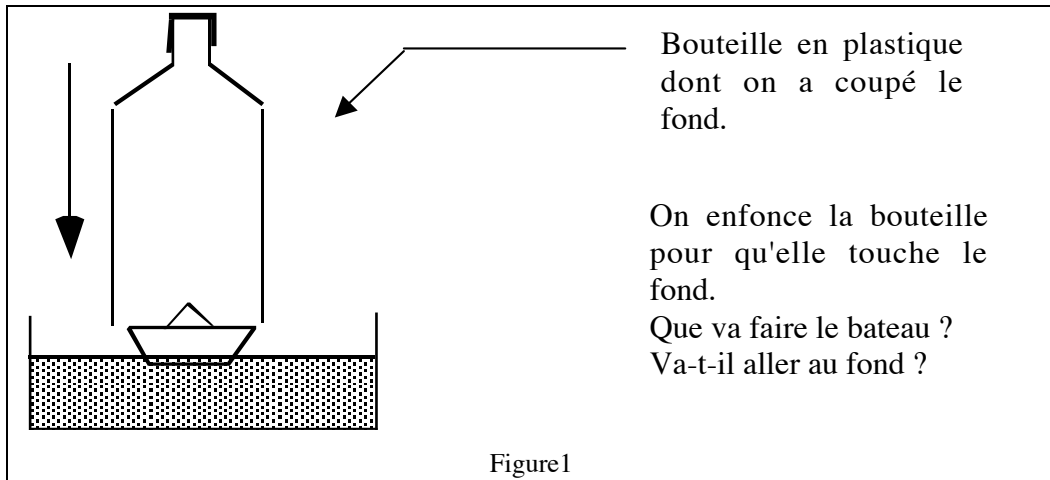
Cela dit, tout n'est pas simple. Considérons la situation, qui peut paraître banale, dans laquelle on comprime un récipient en plastique souple, dont l'extrémité est plongée dans de l'eau. Tout le monde peut voir "quelque chose" s'échapper de l'ouverture. Mais là où un adulte "voit" de l'air, un enfant de 4-5 ans ne "voit" que des bulles. Ce n'est évidemment pas le mécanisme de la vision qui est en cause, mais l'interprétation qu'en fait le cerveau. Celui d'un jeune enfant assimile une bulle à un "objet immatériel" auquel n'est attribuée aucune propriété scientifique, pas même la permanence, puisqu'il semble disparaître lorsqu'il atteint la surface. Le chemin qui conduira à la reconnaissance d'une substance possédant les propriétés générales de la matière, et en particulier celle de permanence et de conservation, est long et semé d'embûches. Il n'y a pas de solution complète, ni en maternelle, ni probablement en primaire. Toutefois des pistes peuvent être envisagées. La logique première est de conduire l'élève à prendre conscience que des propriétés bien connues de la matière sont aussi des propriétés de l'air. Voici un exemple adapté à l'école maternelle.

À l'occasion de jeux utilisant des ballons de baudruche, on délimite un parcours (une ligne droite peut suffire) que doit effectuer le ballon. Les consignes évoluent. Celui-ci est d'abord poussé avec la main puis avec un bâton. Puis, le parcours doit être réalisé en soufflant sur le ballon directement ou encore à l'aide d'un soufflet. On peut compliquer encore et créer un courant d'air en agitant une feuille de carton. L'activité peut paraître banale. Examinons pourtant ce qui s'y joue sur le plan cognitif. L'action que l'enfant est amené à conduire pour faire progresser son ballon relève de la même logique qu'il utilise une partie de son corps, un bâton, ou un intermédiaire invisible. Si, par exemple, le ballon suit une trajectoire qui s'éloigne trop vers la droite, l'enfant va se positionner sur la droite de celui-ci et le ramener vers la gauche par une petite impulsion donnée avec la main ou avec le bâton. Sa capacité à réaliser la même action motrice avec de l'air (son souffle ou celui d'une pompe) est de nature à fonder mentalement un parallélisme entre un objet manifestement matériel (le bâton), et l'air que l'enfant assimilera **très progressivement** à une substance matérielle. C'est cette logique qu'il convient de ne pas perdre de vue tout au long de la scolarité, pas seulement en maternelle.

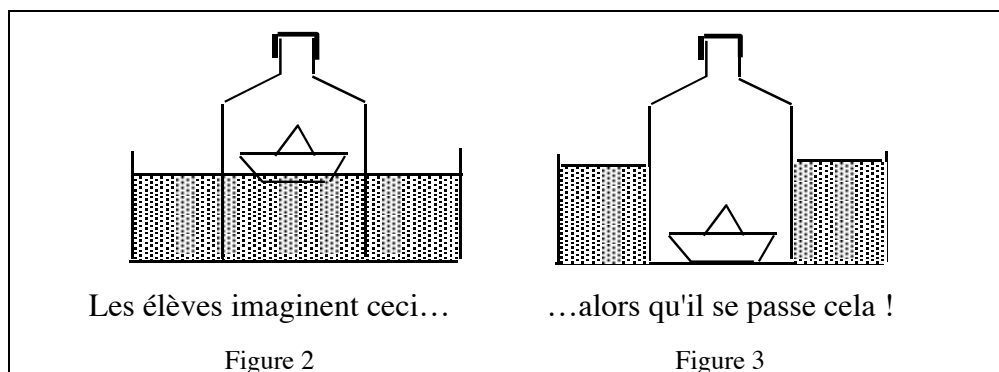
Cycle 2 : conservation lors d'un déplacement.

C'est à cet âge que se construisent les lois de conservation de la matière. Piaget prétendait établir une correspondance stricte entre celles-ci et la maîtrise des opérations logico-mathématiques (identité, réversibilité, transitivité). C'est ainsi qu'il distinguait différents stades (non-conservation, puis conservation de la substance, précédant celle du poids puis celle du volume). Selon cette théorie, la conservation de la matière à l'état gazeux ne présenterait pas de particularité par rapport à celle des autres états physiques (liquide ou solide) et ne devrait donc pas nécessiter de traitement didactique particulier. Si certains aspects de la théorie piagétienne ont fait considérablement avancer les réflexions sur l'apprentissage, les études actuelles montrent qu'on ne peut réduire l'acquisition de la conservation à celle d'opérations logico-mathématiques, indépendamment de la nature de

la grandeur qui se conserve. Ainsi, il est fondamental d'accorder à l'air une place à part. Sa conservation ne se déduit pas naturellement de celle des liquides ou des solides. Considérons, pour illustrer notre propos, l'expérience suivante, dans laquelle on demande à des élèves de fin de cycle 2 de prévoir ce qui va se passer.

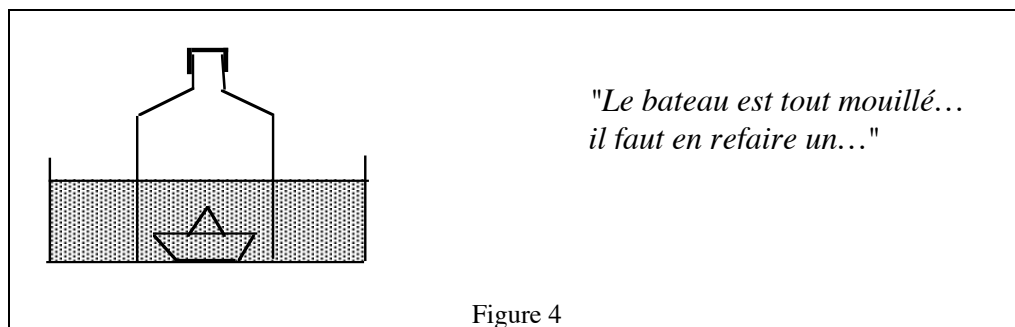


La réponse majoritaire, à cet âge, est que le bateau va rester là où il est, c'est-à-dire à la surface de l'eau (figure 2). Les élèves, dans l'ensemble, n'imaginent pas que la surface libre "air-eau" va elle-même descendre (figure 3).



Surprise !... Qu'est-il arrivé ? Par transparence, on ne voit pas vraiment ce qui se passe dans la bouteille. Le bateau a coulé, pensent les enfants.

Mais que signifie "couler" ? En écoutant attentivement les réflexions des élèves, on perçoit qu'ils imaginent le bateau au fond du récipient, avec de l'eau par-dessus... (figure 4)

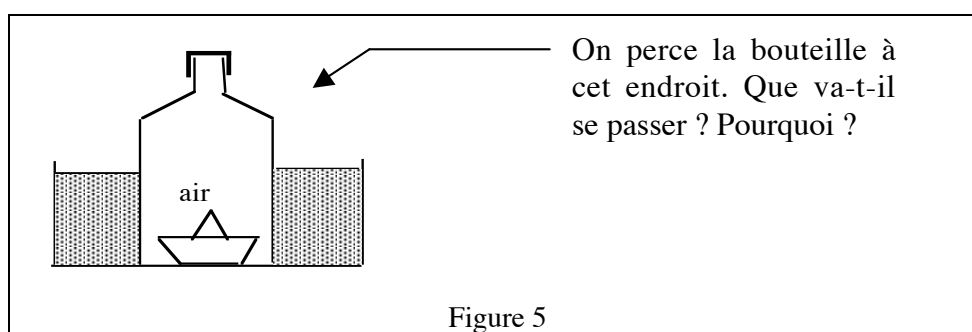


Leurs prévisions et leurs réactions spontanées attestent que la conservation de l'air ne s'impose pas à leurs raisonnements : les situations décrites en figures 2 et 4 ne sont pas compatibles, du point de vue de la conservation de l'air, avec celle de la figure 1.

Au-delà d'une simple évaluation diagnostique, cette situation est un point de départ possible pour un travail sur l'air, d'autant plus motivant qu'il paraît énigmatique aux élèves. Dès qu'ils ont pris conscience que le bateau est allé au fond de la cuvette sans toutefois être immergé, ils élaborent des hypothèses dont certaines sont déjà très élaborées. Les formulations suivantes sont issues d'une observation réalisée en CE1.

- "La bouteille accroche le bateau qui coule" (affirmation renvoyée à la classe pour être débattue).
- "L'air pousse le bateau et le bateau n'est pas mouillé" (le rôle de l'air est perçu, mais son action s'exerce directement sur le bateau).
- "C'est parce que l'air bloque l'eau".
- "C'est parce qu'il y a de l'air dans la bouteille, alors comme la bouteille est pleine, l'eau ne peut pas venir".

Toutes les formulations ne sont pas immédiatement aussi élaborées que cette dernière. Certains élèves ont besoin de temps. On recherche le moyen de vérifier les différentes hypothèses. Comment prouver qu'il y a de l'air dans la bouteille enfoncée comme sur la figure 3 ? La suite se déroule selon la même logique. Avant de voir ce qui va se passer (ou, mieux, de réaliser eux-mêmes l'expérience), les élèves doivent formuler une prévision argumentée (voir par exemple figure 5).

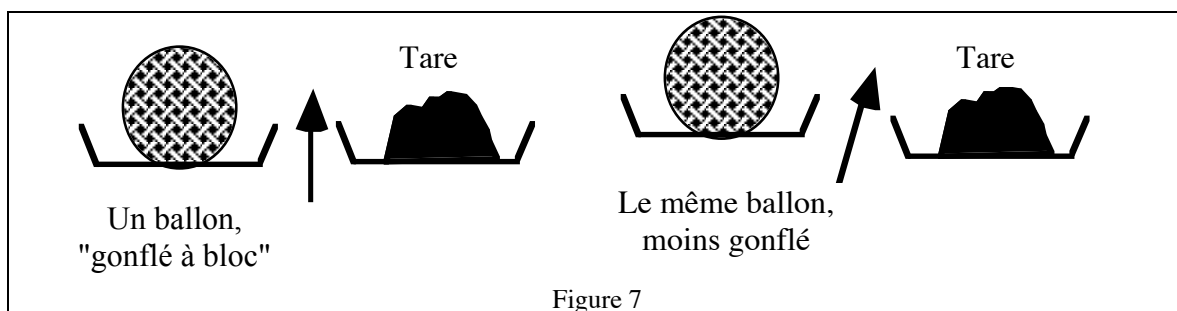


Là encore, les choses ne sont pas simples. Après avoir vu l'eau (donc le bateau) remonter à l'intérieur de la bouteille, certains élèves prétendent que de l'air est entré dans la bouteille. Il faut trouver un moyen pour vérifier... On peut par exemple mettre de l'eau savonneuse au voisinage du trou. Les bulles pourront contribuer à mettre en évidence le sens de déplacement de l'air.

D'autres activités du même ordre sont possibles et se trouvent proposées dans certains manuels. Il est souhaitable, à cet âge, de rester centré sur la conservation de l'air lors de son déplacement. L'écueil est de se laisser disperser et de traiter des propriétés diverses sans logique directrice. Tout comme au cycle 1, c'est l'analogie avec d'autres propriétés de la matière, qui ne présentent aucune difficulté lorsqu'elles portent sur l'état solide ou sur l'état liquide, qui contribue à fonder une conceptualisation plus large. S'agissant de la conservation, les élèves de CP n'ont aucun mal à formuler que dans une assiette pleine de soupe, on ne peut plus rajouter de lait. Pour y parvenir, il faut enlever de la soupe... L'objectif, *in fine*, est de les faire accéder à une formulation de même structure : "L'eau ne peut pas entrer dans la bouteille parce qu'il y a déjà de l'air" (figure 3) ; "L'eau peut pénétrer dans la bouteille, parce que l'air peut sortir par le trou" (figure 5).

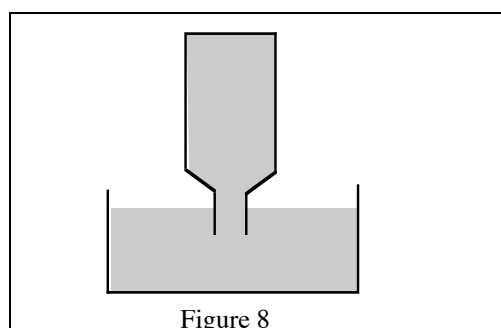
En priorité au cycle 3 : d'autres aspects de la matérialité.

Le problème de la matérialité de l'air n'est pas résolu à l'issue du cycle 2. Prenons l'exemple de son caractère pesant². Dans leur ensemble, les élèves de CM pensent qu'un ballon "gonflé à bloc" est plus léger qu'un ballon mal gonflé. Cela peut se comprendre en référence à l'expérience sensible : rebonds meilleurs, impacts moins douloureux au volley-ball... À cet âge encore, la perception prime sur le raisonnement. La vérification expérimentale est facile (figure 7).



L'indice d'une conceptualisation du poids de l'air est une formulation analogue à celle qui est parfaitement maîtrisée dans le cas des liquides et des solides par des élèves bien plus jeunes : "*plus il y en a, plus c'est lourd ...*"

Bien qu'elles intéressent essentiellement le cycle 2, les activités liées directement à la conservation de l'air sont encore souhaitables avec des élèves plus âgés. Profitant d'une plus large maîtrise de l'écrit et du graphisme, on peut proposer des problèmes plus ouverts. Voici un exemple adapté à une classe de C.M. Ayant devant les yeux la situation de la figure 8, les élèves ont pour consigne d'imaginer le plus grand nombre de méthodes pour faire entrer de l'air dans la bouteille, sans sortir le goulot de l'eau.



Le déroulement peut prendre la forme d'un jeu dans lequel les élèves s'envoient des messages sur lesquels sont rédigées leurs propositions. L'imagination ne manque pas.

² - Au niveau de l'école, on n'hésitera pas à confondre poids et masse. Du point de vue psycho-génétique, c'est d'ailleurs le poids qui se construit en premier lieu. Lorsqu'un élève peine sous un cartable trop chargé, c'est bien avec raison qu'il se plaint de son poids... Du point de vue scientifique, c'est la grandeur "poids" qui est pertinente là où de nombreux manuels emploient le terme "masse", pensant sans doute faire preuve de rigueur. Contrairement à des affirmations "légères", une balance mesure des poids avant de mesurer des masses. La masse est avant tout un concept de dynamique. Elle représente en quelque sorte la "résistance" au changement de mouvement. On la nomme encore "inertie". L'ambiguïté vient de ce que l'unité usuelle est une unité de masse (le kg) alors que l'unité de poids (le newton) est inusité hors du corpus scientifique. Ces aspects sont déjà trop difficiles pour des élèves de collège. Il faut rester vigilant à ne pas entraver la progression d'élèves d'âge primaire par des distinctions qu'ils n'ont pas les moyens d'entrevoir.

Certaines propositions sont irréalistes ou inexactes sur le principe. Mais de nombreuses idées sont exploitables : dégonfler un ballon de baudruche sous la bouteille, ouvrir sous celle-ci un petit pot, souffler avec une paille ou avec une pompe (choisir un gonfleur de matelas pneumatique et non une pompe à vélo), transvaser de l'air depuis une autre bouteille, etc... Menée avec le souci de la formulation, l'activité permet d'une part d'enrichir la pratique d'écriture des élèves. L'acte d'écrire impose d'autre part un retour cognitif sur sa pensée et contribue à un niveau d'intégration plus solide des concepts en jeu.

Qu'en est-il de l'élaboration du concept d'état gazeux ?

On aborde là un problème délicat. L'examen des programmes officiels laisse penser que la construction du concept général d'état gazeux est un objectif du cycle 3. Mais ne perdons pas de vue que s'y attaquer sérieusement suppose :

- de connaître des propriétés spécifiques à l'air (3^{ème} colonne de la trame conceptuelle présentée au début) ;
- de connaître des gaz autres que l'air, possédant chacun des propriétés particulières (4^{ème} colonne), et un ensemble de propriétés communes (2^{ème} colonne).

Le processus cognitif mis en jeu est qualifié d'abstraction empirique : l'élève, disposant d'une connaissance empirique suffisante, identifie les propriétés communes, abstraction faite des nombreuses différences³. Il convient de mesurer l'inefficacité d'une démarche qui chercherait à faire comprendre aux élèves ce qu'est l'état gazeux en ne s'appuyant que sur l'exemple de l'air.

Ainsi, il faudrait au cycle 3 développer des activités dans deux directions. Un minimum d'activités semble nécessaire d'une part sur des gaz autres que l'air, et d'autre part sur les propriétés de l'état gazeux. Un travail structuré sur des gaz autres que l'air se heurte très vite à des problèmes matériels et de sécurité. Il ne semble pas y avoir de ce côté-là d'autre issue que la simple évocation (butane, gaz carbonique). Les propriétés de l'état gazeux d'une part, les propriétés spécifiques à l'air d'autre part, font l'objet des deux paragraphes qui suivent.

Une propriété de l'état gazeux : la compressibilité.

Les activités sont aisées (gonflage d'un pneu, manipulation de seringues), mais leur interprétation, par des élèves de primaire, est problématique. Comment faire cadrer la diminution du volume et la conservation de la matière ? Cette dernière loi, d'acquisition récente, ne risque-t-elle pas d'être déstabilisée ? Selon une étude réalisée avec des élèves de 6e⁴, la diminution de volume consécutive à une manipulation du piston d'une seringue est bien souvent assimilée à une disparition d'air ! Une autre recherche⁵ contribue à montrer que dans la même situation, l'aptitude des élèves de CM2 à concevoir la conservation de l'air, dépend de leurs possibilités à conceptualiser simultanément la notion de pression (« si

³ - C'est par le même processus que s'élaborent de nombreux concepts : état liquide, état solide, état métallique par exemple. En dehors du domaine scientifique on peut citer celui de couleur. L'enfant disposant d'une connaissance empirique des objets suffisamment vaste va progressivement devenir capable de faire abstraction des propriétés géométriques ou physiques (la forme, la solidité, ...) pour porter son attention sur un attribut commun : la couleur.

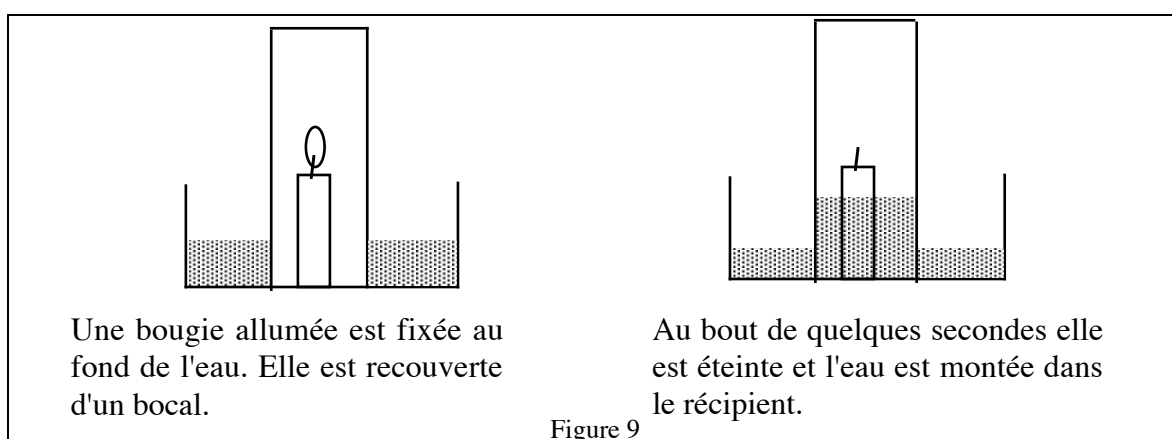
⁴ - SERE M.G., TIBERGHIE A., (1983), *Les représentations des élèves de 6ème et leur évolution ; Température, chaleur - Etat gazeux*, Rapport de recherche, Paris, I.N.R.P., L.I.R.E.S.P.T.

⁵ - WEIL-BARIS A., SERE M.G., LANDIER J.C., (1986), "Étude de l'évolution de l'interprétation d'expériences mettant en jeu l'air chez les élèves de CM2", *Journal européen de Psychologie de l'Éducation*, vol. 3.

on pousse le piston, il y a autant d'air, mais il occupe moins de place parce qu'il est plus tassé »). Il y a donc lieu d'être particulièrement prudent. Le sujet peut sans doute être exploité, mais la problématique doit être bien claire : il ne s'agit pas seulement d'enrichir la liste des propriétés de l'état gazeux, il convient aussi de provoquer chez l'élève une construction cognitive qui articule de manière cohérente la conservation de la matière et la variation du volume. Dans cette perspective, il faudra aborder au moins sommairement, la notion de pression.

Une propriété de l'air : l'entretien des combustions.

Évoquons pour en terminer cette expérience (figure 9) qui, bien qu'elle figure en bonne place dans quelques manuels, nous semble véritablement à proscrire.



Une fois de plus cette expérience semble nier la conservation de la matière. Le volume gazeux a diminué alors que rien n'est entré, rien n'est sorti, et aucune compression n'a eu lieu. Mais, surtout, le gaz contenu dans le récipient après expérience n'est plus de l'air, sinon la combustion continuerait. Voici donc un cas de **non-conservation de la nature même de la substance**. Sur ce point, les études menées en didactique des sciences sont formelles. Tant que les élèves ne disposent pas d'un modèle de la réaction chimique leur permettant de comprendre par une loi de conservation plus profonde (celle des atomes) les non-conservations apparentes, ils ne verront dans la chimie que des expériences amusantes (s'ils les réalisent eux-mêmes ce qui n'est pas simple en primaire) mais totalement magiques. On est ici bien loin de l'objectif général qui est, rappelons-le, de contribuer à construire un concept intégrateur.

Conclusion.

L'air est de la matière, et, comme toute matière, il obéit à une loi de conservation. Tel est l'objectif qu'il faut poursuivre à l'école en ayant soin de ne pas "changer de cap" sous prétexte d'expériences amusantes. Nous pensons qu'il peut être atteint pour l'essentiel à la fin du cycle 2. Il va de soi que des élèves plus âgés n'ayant pas eu d'apprentissage sur ce domaine, tireront profit des activités proposées pour le cycle 2. Elles sont plus faciles à mener, mais restent parfaitement adaptées. On l'aura compris, nous plaçons pour qu'au cycle 3 on s'attache à stabiliser les acquis par quelques activités complémentaires, sans chercher à aborder de nouveaux concepts. On a vu les difficultés didactiques que cela pourrait occasionner tout particulièrement lorsqu'intervient une réaction chimique. Quelques pistes nouvelles pourraient être suivies (compressibilité), à condition de rester vigilant quant à la conservation. Mais est-ce utile en primaire ? Est-on sûr de ne pas

s'engager dans des conceptualisations déraisonnables compte tenu de l'âge des élèves ? Ne risque-t-on pas, déjà, de détourner des sciences certains d'entre eux ? Terminons en remarquant que les programmes de physique-chimie du cycle central des collèges (5ème, 4ème) prévoient un chapitre important sur l'air et l'oxygène. La compressibilité et les combustions sont étudiées à l'aide des outils intellectuels qui permettent de les interpréter : modèles moléculaire et atomique et la matière.