
IMAGES D'EXPÉRIENCES

DANS UN MANUEL DE SCIENCES

Yves ARVIEU
Professeur de Sciences Physiques

Alain DUMON
Professeur de Chimie
I.U.F.M. d'Aquitaine, Centre de Pau

PROBLÉMATIQUE

I - Les images dans les manuels scolaires

Les manuels scolaires de Sciences pour l'école élémentaire font une large place aux images (photographies, dessins, schémas, graphiques, ...) ; parmi elles, des images relatives à des expériences à réaliser.

Comme l'indique Alain Robert¹, «la conception d'une (double) page documentaire repose sur une forte idée de scénarisation» ; aussi l'interaction de l'élève avec l'image et le texte du manuel doit-elle participer à l'apprentissage. Toutes ces images constituent donc un support sur lequel vont s'établir les relations entre le maître, l'élève et la connaissance, ainsi que la réalité.

Les rôles didactique et pédagogique attribués à ces images lors de la conception du manuel sont associés à plusieurs facteurs : type d'image, caractéristiques, présence ou non d'un texte d'accompagnement, mise en page...

Mais lors de leur utilisation par les élèves, ces images fonctionnent-elles selon les prévisions des auteurs du manuel ?

D'une part, le rapport de l'élève-lecteur à l'image dépend de nombreux paramètres : connaissances antérieures de l'élève, évocation ou non par l'image de pratiques de référence de l'élève... D'autre part, le maître qui a introduit le manuel en classe va les utiliser de façon différente selon l'interprétation qu'il en fait lui-même et selon ce qu'il pense que les élèves vont en faire.

¹ Robert A.(1987). La mise en scène du savoir scientifique dans les documentaires, *ASTER n°4*, I.N.R.P., Paris, pp. 65-89.

II - Problématique

Cet article se propose d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- quels obstacles peuvent rencontrer des élèves pour problématiser et réaliser les expériences proposées sous forme d'illustrations dans un manuel de sciences ?
- quelle interprétation scientifique un maître donne-t-il lui-même à ces illustrations ?
- quel doit être le rôle du maître dans une telle situation ?

Ce sont des illustrations relatives à des expériences sur l'existence de l'air qui font l'objet de notre étude.

Pourquoi le choix de ce domaine expérimental ?

A l'école élémentaire, le concept de gaz, et d'air en particulier, est abordé dans plusieurs disciplines :

- en Physique :

Les Instructions Officielles de 1985² en vigueur au moment de notre étude (1992) fixaient, sur ce sujet, le programme suivant pour le Cours Élémentaire (CE) :

- les états de la matière (solide, liquide, gazeux) et leurs transformations,
- l'air et l'eau : leurs propriétés.

Au Cours Moyen (CM), l'étude des états de la matière et des changements d'état n'apparaissait plus dans ce programme.

Dans les nouvelles instructions de mars 1994³, l'étude de l'air et de l'eau est abordée dès le cycle 2 (CP, CE₁) ; au cycle 3 (CE₂ et CM) apparaît l'étude de l'état gazeux, du cycle de l'eau et de la qualité de l'air.

- en Biologie :

L'étude de la respiration est abordée au CE du point de vue de la ventilation.

- en Géographie :

Le cycle de l'eau est souvent étudié à ce même niveau de classe.

La transversalité de ces concepts semble indiquer la nécessité d'étudier en Physique au CE les propriétés de l'air (donc de respecter les Instructions Officielles) si l'on veut que les élèves tirent un meilleur profit de l'enseignement de Biologie et de Géographie au même niveau d'étude (CE).

Les illustrations support de notre étude sont extraites d'un manuel de sciences⁴ pour le CE. Cet ouvrage, apprécié par les enseignants, présente, sur le thème de l'air, beaucoup plus d'expériences à réaliser que ses concurrents.

Tous les chapitres de ce manuel occupent une double page ; leur mise en page est toujours la même.

² Ministère de l'Education Nationale - Direction des Ecoles (1991). «*Les cycles à l'école primaire*». CNDP - Hachette Ecoles.

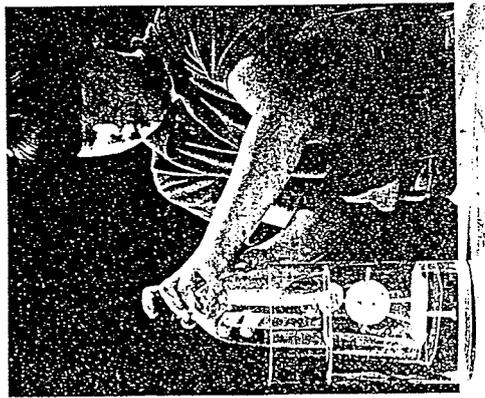
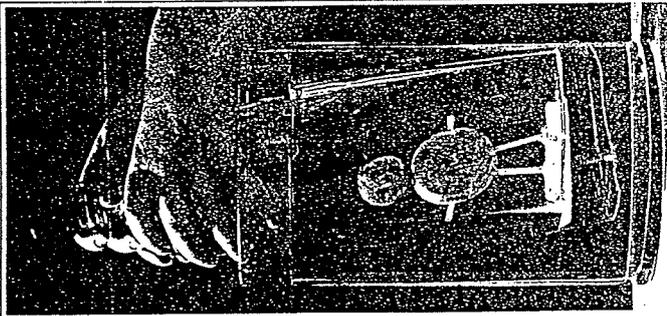
³ BOEN spécial n° 5 - 9 mars 1995.

⁴ Sciences et Technologie CE - Coll. Tavernier - Bordas (1986).

La double page étudiée a pour titre : « Cette bouteille n'est pas vide ».

Cette bouteille n'est pas vide

Le sous-marin d'Aventurix



Je vous présente l'aventurix, le célèbre explorateur. Son sous-marin est un bouteille en matière plastique sans fond. Quand j'enfoncerai doucement la bouteille dans l'eau, l'aventurix explorera les fonds sous-marins sans se mouiller ! L'eau ne passe-t-elle alors ni par le bouchon ou si je le perce avec une aiguille ?

- Frotte une feuille de papier et colle cette feuille au fond d'un verre (ou bocal à confiture) vide. Retourne le verre et enfonce-le verticalement dans l'eau d'une bassine. Le papier est-il mouillé ? Explique le phénomène. Recommence l'expérience, mais cette fois incline le verre quand il sera dans l'eau. Que constate-t-on ?
- Réalise les expériences proposées sur l'ensemble de ces deux pages et explique les phénomènes observés.
- Enumère les différentes propriétés de l'air que ces expériences permettent de découvrir.
- L'air est un gaz invisible. Cite d'autres gaz.
- Explique le sous-marin d'Aventurix dans l'eau. Que se passe-t-il à ce moment-là, si tu enlèves le bouchon ou si tu le perce avec une aiguille ? si tu son propre instrumentement la bouche de l'eau ? Explique la bouteille non touchée dans l'eau. Observez les autres enfants ?

Une visite au club des magiciens

Je suis Fortiche le magicien. Voici quelques-uns de mes tours et mes outils magiques.

L'eau qui coule pas. ! mes outils magiques

La bouteille s'ôte à modeler

La bouteille souffleuse

L'aiguille qui décolle les grains de café

La bouteille gonfle ballon

L'eau qui passe toute seule de la cuvette dans le flacon

bouteille sans fond

bouteille sans fond

bouteille sans fond

J'ai toi-même les tours de magie et cherche des explications

Les expériences présentées sont illustrées par des dessins ou par une photographie d'enfant en train de la réaliser. Aucune question à la forme interrogative ne pose directement le problème scientifique à résoudre. Un magicien servant d'interlocuteur entre le manuel et l'élève-utilisateur donne envie de l'imiter : les expériences sont présentées comme des tours de magie, le matériel utilisé comme des outils magiques.

Quelle est la fonction didactique de ces images ?

C'est de proposer des expériences aux élèves, de les leur faire réaliser («*fais toi-même*») puis interpréter («*cherche des explications*»).

On peut toutefois s'interroger sur deux points :

1 . Chacune de ces illustrations d'expériences remplit-elle la fonction didactique prévue par le manuel ? Autrement dit, ces images permettent-elles aux élèves :

- de rassembler le matériel nécessaire à la réalisation de l'expérience ?
- de comprendre la façon d'opérer pour réaliser l'expérience ?
- d'interpréter le résultat annoncé de l'expérience **sans la réaliser** ?

- de mobiliser les connaissances prévues explicitement ou implicitement par les auteurs du manuel ou celles qui sont nécessaires pour que l'apprentissage se déroule conformément à ce qui est visé par le manuel et demandé par les instructions officielles ?

- de poser le problème scientifique ?

Les «outils magiques» appartiennent à l'environnement quotidien de l'enfant (bouteille d'eau minérale, pâte à modeler, ballon de baudruche) ; le titre de la double page et l'annonce du résultat surprenant de l'expérience semblent devoir susciter la curiosité des élèves et leur faire poser le problème. Quelques doutes sont permis sur des réponses affirmatives aux questions qui précèdent :

- le titre n'est pas à la forme interrogative («Cette bouteille n'est pas vide»),
- le sens du mot «vide» n'est peut-être pas chez les élèves celui auquel pensent les auteurs du manuel,
- la mise en relation de ces éléments écrits nécessite une lecture non linéaire du document.

2 . Quel doit être le rôle du maître lors de l'utilisation du manuel par ses élèves ?

Quelle est la part d'explicitation, de connaissances qu'il devra prendre à sa charge lors de l'interaction élève-image ?

III - Méthodologie

Pour apporter quelques éléments de réponse à ces questions, nous avons mis en place la méthodologie suivante :

- analyse a priori des images et des textes proposés aux élèves puis comparaison de cette analyse aux résultats de l'observation d'élèves d'une classe de CM₁ (cycle 3 de l'école primaire) en situation de travail sur ces documents «aménagés» extraits du manuel.

- adoption de la même démarche pour répondre à la question sur le rôle du maître :

- examen du livre du maître associé au manuel de l'élève pour définir le rôle attribué au maître par les auteurs du manuel d'où sont extraits les images et les textes donnés aux élèves.

- comparaison à son rôle effectif pendant les séquences avec les enfants.
 - enfin, analyse de l'interprétation à la fois scientifique et pédagogique que des professeurs d'école en formation initiale font de ces mêmes images.

Pour notre étude, nous avons procédé au petit montage (ci-dessous) à partir de la double page du manuel :

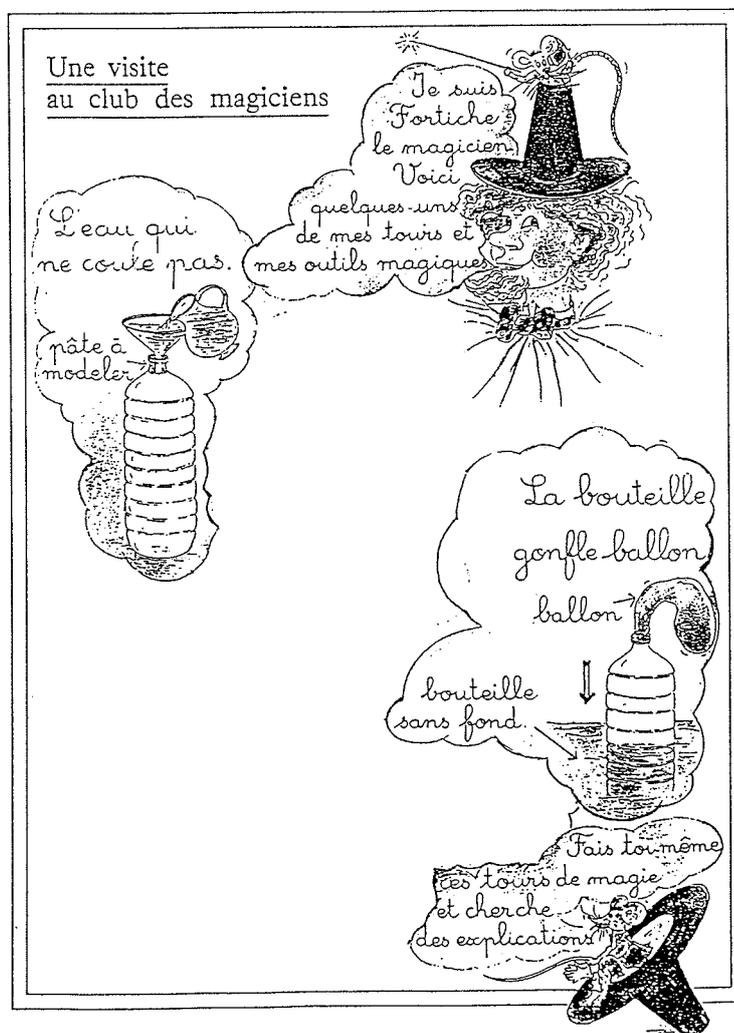
- nous avons choisi de ne garder pour le travail avec les élèves que quelques images d'expériences proposées dans la page de droite ;

- cette page présentant plusieurs illustrations d'expériences, nous avons décidé d'analyser chaque illustration l'une après l'autre et donc de ne donner aux élèves qu'une seule image d'expérience à la fois ; en effet, selon Alain Robert⁵, les élèves de CM ont tendance à lire les textes documentaires de façon linéaire ;

- afin de dénaturer le moins possible l'esprit de la double-page, nous avons rappelé le titre de ce chapitre.

Document distribué aux élèves

**Cette bouteille
n'est
pas vide**



⁵ Robert A. (1987), ib. note 1.

RECHERCHE - EXPERIMENTATION

Quel est le rôle du maître prévu par les auteurs du manuel ?

Les quatre premières pages du livre du maître associé au manuel de l'élève indiquent à l'enseignant :

- les objectifs des activités de Sciences et Technologie,
- la façon d'utiliser le livre de l'élève.

C'est la lecture de ces pages qui nous permet d'établir a priori le rôle du maître au cours de l'utilisation par les élèves du chapitre du manuel qui nous concerne.

On peut penser que les illustrations d'expériences dont nous avons parlé plus haut permettent de «*lancer*» l'activité» (p.4 du livre du maître) d'autant que les informations concernant le chapitre «*Cette bouteille n'est pas vide*» apportées plus loin (p.56) ne précisent aucun rôle particulier au maître ; il est même précisé que l'un des objectifs-élève visés dans l'activité est de «*réaliser des expériences à partir des documents fournis*» et que «*la plupart des expériences de la page 129 sont faciles à réaliser*».

Il est bien sûr recommandé à l'adulte de ne pas abandonner les élèves à eux-mêmes, mais il doit laisser les élèves «*vivre obligatoirement certains «moments-clés»*» par exemple une «*recherche en travail de groupe et sans intervention de l'adulte de la (ou des) réponse(s) à un problème clairement posé (il n'y a pas d'activité scientifique s'il n'y a pas de problème à résoudre)*».

Il semble donc que, pour les auteurs du manuel, le rôle du maître dans ce chapitre est de «*distribuer le document*» et de mettre le matériel nécessaire à leur disposition.

Ce qui, par ailleurs, sous-entend que les illustrations permettent aux élèves de poser le problème scientifique à résoudre.

L'EAU QUI NE COULE PAS

Analyse a priori

I - L'explication scientifique de cette expérience ; sa réalisation

- Les notions de physique mises en jeu dans cette expérience sont celles de pression atmosphérique et de pression de l'air dans la bouteille. Il y a équilibre entre la pression de l'air intérieur et la pression due à la fois à l'atmosphère et à l'eau dans l'entonnoir.

Pour les élèves, cette expérience veut simplement montrer que cette bouteille que l'on dit «*vide*» contient de l'air et que pour la remplir d'eau, l'air qu'elle contient doit pouvoir s'échapper.

- La réussite de cette expérience nécessite quelques astuces techniques qui ne sont pas précisées dans le livre du maître ; en effet, malgré un bouchage hermétique de la bouteille par la pâte à modeler, l'air à l'intérieur de la bouteille peut s'échapper par

l'embout de l'entonnoir ; pour éviter l'amorçage de cette sortie d'air, il est conseillé de

- choisir un entonnoir avec un embout de petit diamètre,
- verser l'eau rapidement sur les parois de l'entonnoir.

II - Quelles sont les difficultés prévisibles de décodage de cette image par les élèves ?

Le matériel utilisé

Il est commun pour être connu des élèves : bouteille, pâte à modeler, entonnoir, carafe.

La réalisation de l'expérience

Le résultat annoncé de l'expérience peut inciter les expérimentateurs à boucher l'entonnoir avec de la pâte à modeler et donc à ne pas regarder le détail de l'image concernant la position de la pâte.

S'ils observent le dessin, la vue «en coupe» à l'endroit du goulot de la bouteille peut faire croire que la pâte à modeler n'est pas disposée tout autour de l'entonnoir ; de plus, au moment de la réalisation, elle risque d'être placée soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la bouteille.

Sans l'aide du maître, les élèves risquent de ne pas réaliser l'expérience correctement : l'eau peut alors couler et l'interprétation de l'observation aboutir à un tout autre résultat que celui attendu par les auteurs du manuel et par le maître.

L'interprétation de l'observation annoncée

Les élèves peuvent-ils établir un lien entre le titre du chapitre («Cette bouteille n'est pas vide»), l'observation annoncée («l'eau qui ne coule pas»), et leurs conceptions initiales (avant réalisation de l'expérience) sur la présence ou non de l'air dans la bouteille ?

La preuve de la présence de l'air «prisonnier» dans la bouteille n'est pas apportée ; il faudrait percer la bouteille : l'air libéré pourrait alors être détecté et l'eau coulerait.

Le problème scientifique à résoudre

Est-il bien posé par le manuel ? Est-il la «propriété» des élèves au moment de la manipulation ?

Le choix de la forme négative tant dans le titre que dans le résultat de l'expérience n'est pas innocent : l'auteur du manuel compte sur l'effet de surprise du lecteur supposé avoir déjà versé de l'eau dans une bouteille en utilisant un entonnoir.

Si la question «Qu'y-a-t-il dans cette bouteille ?» n'est pas posée initialement par le maître, les élèves comprendront-ils le sens de leur expérience (l'activité manipulative étant alors purement occupationnelle) ou dégageront-ils le sens de l'expérience en manipulant ?

Le déroulement avec les élèves et avec des enseignants en formation initiale

I - Chez les élèves de CM₁

Après leur avoir distribué le document (cf. p.85), le maître leur a demandé de bien observer cette page et leur a annoncé que des élèves seraient tirés au sort pour

faire l'expérience proposée au tableau. Il ne leur a pas été demandé d'expliquer le résultat annoncé.

Un rapide questionnement oral a permis au maître de se rendre compte que le matériel était connu des élèves.

Deux équipes de deux élèves ont alors été appelées par tirage au sort pour réaliser en parallèle la manipulation devant leurs camarades. Les deux équipes opéraient sur deux tables placées devant le tableau et étaient séparées par un écran opaque ; chacune pouvait choisir le matériel mis à sa disposition sur une table (bouteilles de différentes capacités, entonnoirs de taille et de couleur différentes).

En moins de trois minutes, la manipulation était terminée et l'eau ne coulait pas dans la bouteille : les élèves des deux équipes avaient bouché l'entonnoir avec la pâte à modeler !

Le maître a alors interrogé collectivement les spectateurs ; tous étaient d'accord sur le principe de la manipulation réalisée, quelques-uns voulaient affiner la technique : en effet, dans une des deux équipes, l'entonnoir blanc en matière plastique laissait entrevoir la pâte à modeler bleue utilisée et ils ont alors proposé de disposer aussi de la pâte à modeler autour du goulot de la bouteille pour cacher celle dans l'entonnoir.

Le tour de magie a pris une place prépondérante dans la réalisation de l'expérience au point que la remarque timide d'Arnaud concernant le titre du chapitre : *«mais peut-être qu'il y a quelque chose dans la bouteille puisque le titre ...»* ou les questions du maître demandant si un tour de magie figurerait dans un livre de sciences ne sont pas retenues par les élèves.

Les quatre autres équipes désignées par tirage au sort pour essayer un autre procédé ont gardé le même principe - boucher l'entonnoir - et n'ont fait qu'inventer des stratagèmes pour dissimuler avec de la pâte à modeler celle placée dans l'embout.

Le maître a alors réalisé la manipulation devant les élèves en montrant bien à l'aide d'une longue aiguille qu'il ne mettait pas de pâte à modeler à l'intérieur de l'entonnoir.

Des élèves invités successivement par le maître à «venir voir et dire ce qu'ils voyaient» ont tous fait des observations concernant la pâte à modeler mais aucun n'a donné l'observation attendue par le maître : «la bouteille est vide (d'eau), l'entonnoir est plein d'eau et pourtant elle ne coule pas !»

Le problème scientifique posé par cette expérience, à savoir la présence d'air dans la bouteille, était occulté par les conceptions initiales des élèves sur la réalisation de ce «tour de magie».

II - Chez les enseignants en formation initiale

Nous avons proposé le même document à 36 enseignants en formation initiale, répartis en deux groupes.

Le tableau suivant indique la proportion des personnes interrogées ayant suivi un cursus scientifique :

Etudes scientifiques	Nombre d'étudiants
Bac (C, D, F6) dont études universitaires	22 15 (licence, maîtrise, BTS)

Nous leur avons demandé de répondre par écrit aux trois questions suivantes :

- Que veut montrer ce tour de magie ? Expliquez.
- Décrivez avec précision comment vous vous y prendriez pour le réaliser vous-même.
- A votre avis, des élèves du cycle 3 sont-ils en mesure de réaliser cette expérience ? Justifiez votre réponse.

Puis, dans chaque groupe, nous avons invité deux personnes à venir successivement effectuer la manipulation.

Les réponses aux deux premières questions font apparaître chez ces enseignants en formation les mêmes difficultés d'interprétation du document que les enfants :

- **L'explication correcte du phénomène** et la description du mode opératoire ne sont données que par 25% seulement des personnes interrogées.

- **L'imperméabilité de la pâte à modeler** est, pour 50% des personnes, la notion scientifique que démontre cette expérience ; mais si certains placent la pâte à modeler dans l'embout de l'entonnoir comme l'ont fait les élèves du CM₁, d'autres remplissent d'abord la bouteille d'eau avec l'entonnoir puis colmatent extérieurement le goulot de la bouteille avec la pâte à modeler, enfin continuent à verser de l'eau jusqu'à remplir l'entonnoir. Pour ces derniers, le terme «vide» du titre est interprété dans le sens commun à savoir : «la bouteille est pleine d'eau».

Le tour de magie garde encore tout son pouvoir. J.M.M. : «*Fortiche croit faire de la magie car l'eau est un fluide (qui donc coule forcément) !*» (question 1). La façon de procéder en résulte (question 2) : «*Je mettrais de la pâte à modeler dans un entonnoir (en cachette), présenterais cet entonnoir de profil à mon public (qui ne verrait pas qu'il est bouché), le placerais dans le goulot et y verserais l'eau (qui ne coulerait pas) ... magique !*»

Evidemment, cette expérience «est vraiment simple» à réaliser pour les enfants, «*cependant, la difficulté est de cacher le fait que l'entonnoir soit obstrué*» (question 3).

- **Les propriétés des gaz** sont envisagées par 14% des personnes pour expliquer le phénomène, le gaz enfermé dans la bouteille étant :

- de l'air, soit comprimé, soit en quantité trop grande ou trop faible. En effet, «*pour verser un contenu, il faut certaines conditions de pression atmosphérique. Il y a trop d'air dans la bouteille.*» (I.L.)

- un autre gaz : «*Il veut montrer qu'il y a un gaz dans la bouteille plus «lourd» que l'eau.*» (S.L.)

La description de la réalisation de l'expérience suit la logique de l'explication et non pas l'illustration.

Si c'est de l'air, la façon de procéder est différente selon les personnes :

- «*on place la bouteille dans d'autres conditions de température et de pression ...*» (I.L.). On peut par exemple «*mettre la bouteille pleine d'air dans un congélateur. Avant de la sortir, on bouche le goulot avec de la pâte à modeler. L'air se dilate. On place l'entonnoir dans le goulot (mais la pâte à modeler bouche l'entonnoir). On verse l'eau et avec une aiguille à tricoter, on pousse la pâte. L'eau ne coule pas.*» (C.R.)

- on peut aussi ne pas utiliser de pâte à modeler et jouer sur le débit de l'eau que l'on verse : «*pour que la manipulation soit efficace, je prendrais une autre bouteille avec l'entonnoir enfoncé mais sans pâte à modeler ; je verserais l'eau avec un fort débit (afin que l'air ne puisse s'en aller).*» (D.G.)

Si c'est un gaz, il suffit de «*prendre une bouteille avec de la pâte à modeler pour boucher, y injecter le gaz puis y mettre l'entonnoir, verser l'eau.*» (S.L.)

Les personnes volontaires dans chaque groupe pour réaliser effectivement l'expérience ont tenté de mettre en application ce qu'elles avaient écrit. Celles qui ont rencontré le plus de gêne sont celles qui pensaient qu'il fallait injecter un gaz dans la bouteille. Une discussion collective a alors permis de réaliser correctement l'expérience.

Conclusion

Dans l'analyse a priori de cette illustration, nous n'avions pas prévu l'importance de la présentation de cette expérience par un magicien.

Cet «oubli» doit nous faire réfléchir à la présentation, tant écrite qu'orale, de la science à l'école élémentaire en particulier : une présentation «magique» crée chez les élèves des obstacles inutiles.

Il aurait été intéressant de vérifier si le même contenu scientifique présenté en utilisant les mots emblèmes de la science - expérience, laboratoire, ... - aurait provoqué chez les élèves les mêmes réactions.

Le déroulement de l'activité avec les élèves du CM₁ montre le poids de leurs conceptions initiales dans les observations lors des différentes tentatives ; les élèves continuent à observer à travers le filtre de leurs conceptions dues à la présentation par un magicien : ils sont vigilants à la non-visibilité de la pâte à modeler qui obstrue l'entonnoir !

L'image et la réalisation ont-elles réussi à faire poser le problème scientifique aux élèves ? Apparemment non. En effet, le résultat à la question : «*Que veut montrer Fortiche avec ce tour de magie ?*» posée à l'issue de la séquence après les différentes tentatives expérimentales, y compris celle réalisée par le maître, est éloquent :

• 11 élèves seulement sur 27 font référence à l'air pour expliquer le phénomène mais certaines de ces réponses sont fausses ou ambiguës :

- «*parce que le bout de l'entonnoir n'est pas assez grand et la pâte à modeler bouche l'entrée d'air et l'eau arrive en trop grande quantité*» (Thibaut)

- «*l'eau ne coule pas parce qu'il y a des bulles d'air dans l'entonnoir, donc l'eau ne coule pas d'un seul coup parce qu'elle est bloquée*» (Ludovic)

- «*l'eau ne coule pas dans la bouteille parce que la pâte à modeler ne fait pas passer l'air et l'eau reste bloquée dans l'entonnoir*» (Sylvain)

- 5 autres élèves ont noté leur surprise que l'eau ne coulait pas, 3 en précisant qu'il n'y avait rien dans l'entonnoir, 2 qu'il n'y avait pas d'eau dans la bouteille.

- les 11 autres élèves décrivent plus ou moins bien le mode opératoire ou/et le résultat observé.

Ceci nous laisse à penser que cette expérience est incomplète pour prouver la présence de l'air dans la bouteille ; à ce moment-là de la séquence, le maître aurait pu demander aux élèves de transformer leurs déclarations en suppositions à vérifier : un trou dans la bouteille ou dans la pâte à modeler et la mise en évidence de l'air qui sort auraient sans doute permis de faire adhérer davantage d'élèves à la connaissance liée à cette situation.

Le rôle du maître nous paraît primordial si l'on veut que les élèves tirent profit du document que nous avons testé. Il nous semble en particulier que le problème scientifique à résoudre devrait être posé clairement par le maître avant la manipulation, l'image n'étant introduite qu'une fois la problématique mise en place.

LA BOUTEILLE GONFLE-BALLON

Analyse a priori

I - L'explication scientifique de cette expérience ; sa réalisation

Dans cette expérience, la quantité d'air du système bouteille-ballon reste constante ; sa pression, égale à la pression atmosphérique au départ, augmente quand on enfonce la bouteille dans l'eau et le ballon se gonfle.

L'interprétation de cette expérience devrait, à notre avis, révéler plusieurs conceptions liées logiquement chez les élèves, par exemple :

- le ballon est vide d'air au départ,
- il ne se gonfle que par déplacement de l'air de la bouteille : «l'eau monte dans la bouteille et chasse l'air dans le ballon» ; la représentation en coupe-perspective dans l'illustration ne permet d'ailleurs pas de situer exactement le niveau de l'eau dans la bouteille par rapport au niveau de l'eau dans le récipient et peut laisser croire à leur égalité,

- la bouteille ne contient plus d'air lorsque le ballon est gonflé.

Ce que veut montrer simplement cette expérience aux élèves de cet âge, c'est :

- la présence d'air, au départ, dans la bouteille et le ballon,
- l'expansibilité de l'air : il occupe la place qui lui est offerte, ici le ballon élastique.

II - Quelles sont les difficultés prévisibles de décodage de cette image par les élèves ?

Le matériel

Il appartient au champ de référence des élèves mais :

- qu'est-ce qu'une bouteille sans fond pour certains ?
- le récipient dans lequel on doit plonger la bouteille n'est pas représenté.

La façon de réaliser la manipulation

Sur l'illustration d'origine, la couleur permet de différencier les deux flèches de légende de la flèche de déplacement de la bouteille. Pour remédier à l'absence de couleur de la photocopie, nous avons doublé cette dernière flèche (cf. document p.85).

De plus, l'eau représentée dans la bouteille peut laisser croire à ceux qui n'ont jamais vu de bouteille sans fond qu'on a versé de l'eau dans la bouteille.

La compréhension de la manipulation

Elle va dépendre semble-t-il :

- du décodage de la flèche de déplacement,
- du décodage de l'absence du récipient,
- de la pratique de référence d'une bouteille sans fond.

Ces trois éléments sont au coeur du problème à résoudre ; autrement dit, si les élèves n'ont pas en tête le problème scientifique à résoudre, peuvent-ils décoder cette illustration ?

Le déroulement avec les élèves et avec des enseignants en formation initiale

I - Chez les élèves de CM₁

Le même document que celui de la séquence précédente est distribué aux élèves ; il comporte en plus l'illustration de la bouteille gonfle-ballon.

1. L'interprétation de l'illustration

Deux questions sont posées par écrit au début de la séquence ; il est demandé aux élèves :

- quel est le matériel nécessaire à la réalisation de ce tour de magie ?
- comment procéder pour le réaliser ?

Les réponses à la question concernant le matériel

- Seuls 4 élèves sur 27 donnent la liste complète du matériel nécessaire, indiquant en particulier le récipient contenant l'eau (très souvent une bassine).
- La bouteille sans fond est mentionnée par 20 élèves dont les 4 précédents mais 5 élèves seulement sur les 20 indiquent ce que c'est.

On peut penser qu'une grande partie des 15 autres n'a fait que réécrire la légende du dessin telle Aline qui annonçant avoir besoin d'«une bouteille d'eau vide sans fond» déclare : «je ne sais pas si au fond de la bouteille il y a quelque chose parce que c'est plus foncé».

Il est à noter qu'au début de la phase expérimentale, à la question orale du maître : «Qu'est-ce qu'une bouteille sans fond ?», 21 élèves déclarent savoir ce que c'est mais en réalité 4 sur les 21 pensent que c'est une bouteille sans rien dedans ; les autres pensent peut-être à une bouteille dans laquelle il resterait «un fond» de liquide, ce que conforterait l'image (cf. la remarque d'Aline).

- l'eau est indiquée par 5 élèves (19%) mais sans précision de l'endroit où elle se trouve. Ainsi, Cécile R. écrit : «Nous avons besoin d'une bouteille + un ballon et

de l'eau». Il est à noter que parmi eux, 2 élèves seulement avaient mentionné la bouteille sans fond mais en montrant à l'oral beaucoup d'incertitude sur cette bouteille (cf. la remarque d'Aline citée ci-dessus).

Par contre, 16 élèves ne citent pas l'eau alors que 13 d'entre eux ont écrit «*bouteille sans fond*». Il semble que ces 13 aient raisonné logiquement : en effet, pourquoi y aurait-il de l'eau dans une bouteille sans fond ?

D'ailleurs, est-ce bien de l'eau ? L'absence de couleur de la photocopie enlève le symbole de l'eau ; c'est peut-être «*du sable*» pense Christophe ou «*quelque chose*» écrit Aline.

Enfin Romuald prend «*une bouteille avec un petit peu d'eau dedans*».

* D'autres élèves rajoutent des éléments qui ne figurent pas sur l'illustration ; certains sont nécessaires telle la table (2 élèves) ou l'air (1 élève), d'autres servent à un type de manipulation différent tel le pichet d'eau cité par Elise vu dans la séquence avec la pâte à modeler.

Les réponses à la question concernant la façon de procéder pour réaliser l'expérience

- Seuls 2 élèves sur 27 répondent correctement ; 2 autres n'apportent pas la précision du déplacement de la bouteille.

Il est à remarquer que ces quatre élèves sont ceux qui avaient décrit correctement le matériel.

- La flèche indiquant le déplacement de la bouteille vers le bas «*gêne*» 2 élèves sur 27.

- Beaucoup d'élèves (12 sur 27) écrivent ne pas savoir ce qu'il faut faire ou ne répondent pas.

- Les autres décrivent une toute autre manipulation :

- certains veulent remplir le ballon avec de l'eau, puis redresser la bouteille.

C'est le cas d'Aurélie, d'Elise ou de Cécile R. En effet, l'illustration n'indique pas si le ballon représenté est en position initiale ou finale. Dans ce dernier cas, le ballon reste «*gonflé*» avec de l'eau. On peut donc penser que ces élèves ont interprété l'image comme représentant la position finale du ballon.

- d'autres le remplissent d'air en utilisant des techniques différentes :

- gonfler le ballon avant de l'installer sur le goulot (Thibaut),

- «*tirer avec ses doigts vers le haut du ballon*», bouteille renversée (Romuald),

- appuyer sur la bouteille (Christophe),

- patienter : ainsi Aurore attend que l'air entre dans la bouteille posée sur le bureau ; elle place ensuite le ballon qui va se gonfler car l'air ne peut plus sortir. Ludovic «*ferait un trou dans la bouteille et patienterait*» ; Coraline «*mettrait de l'air*» après avoir placé le ballon.

Conclusion

Le décodage par les élèves de cette illustration montre toute la difficulté qu'ils auront à rassembler le matériel nécessaire à l'expérience et surtout à la réaliser. L'illustration ne déclenche chez eux aucune problématique, le tour de magie reste peut-être prépondérant.

Les couleurs du document original auraient-elles modifié l'interprétation de l'image par les élèves ?

Oui, sans aucun doute : l'eau du récipient aurait été mentionnée plus souvent ; en revanche, la couleur bleue du ballon aurait renforcé l'idée d'un remplissage du ballon avec de l'eau.

Mais la façon d'envisager la réalisation de l'expérience aurait vraisemblablement été inchangée ; en effet, quatre éléments perturbent la compréhension de cette illustration :

- le non décodage de la flèche de mouvement de la bouteille (25 élèves sur 27),
- l'absence du dessin du récipient dans lequel doit plonger la bouteille,
- le texte indiquant le résultat : «la bouteille gonfle-ballon»,
- la présentation de l'expérience comme un tour de magie.

Les deux derniers points semblent se combiner dans l'esprit des élèves qui cherchent à gonfler le ballon à tout prix, quitte à y verser de l'eau.

2. La réalisation de l'expérience par les élèves

Une discussion collective a permis de définir ce qu'était une bouteille sans fond ; le maître en a montré une.

Deux équipes de deux élèves sont désignées par tirage au sort ; elles vont réaliser l'expérience en parallèle, les tables étant séparées par un écran opaque.

Le matériel est disposé sur une autre table : bouteilles sans fond, bouteilles «classiques», récipients divers (2 cuvettes, 2 seaux, 2 cristallisoirs en verre profonds), ballons de baudruche. Les expérimentateurs choisissent librement le matériel qu'ils jugent nécessaire à la manipulation.

Le hasard n'a désigné que des élèves n'ayant pas compris la façon de réaliser l'expérience.

Les deux premières expériences réalisées traduisent les procédures annoncées lors du décodage de l'illustration. En particulier, l'équipe 2 remplit d'eau le ballon puis redresse la bouteille : la disposition du ballon sur la bouteille est alors la même que sur l'illustration.

Mais la réaction des spectateurs est vive, l'invalidation du résultat étant trouvée dans les éléments textuels du document, soit dans le résultat annoncé : «*ça n'est pas la bouteille qui a gonflé le ballon, c'est l'eau !*», soit dans la présentation de l'expérience comme un «tour de magie» : «*ça n'est pas un tour de magie car on les a vus verser de l'eau dans le ballon !*»

Le second tirage au sort désigne deux nouvelles équipes, la 3 et la 4.

Les élèves de l'équipe 3, après discussion sur la position de la bouteille dans le seau et le moment où il faut disposer le ballon autour du goulot, retiennent la solution suivante : elles placent la bouteille sans fond verticalement dans le seau, la tiennent fermement «*pour pas que l'eau passe trop à côté*», versent de l'eau dans la bouteille ; le niveau de l'eau monte dans la bouteille (et aussi dans le seau) et cela les encourage à continuer à verser parce que «*comme ça, l'eau va gonfler le ballon*» disent-elles au

maître qui s'enquiert de leur mode opératoire. Un peu plus tard, elles placent le ballon autour du goulot.

Pendant ce temps, l'équipe 4 prend une cuvette et y verse de l'eau, «*beaucoup pour que l'air gonfle le ballon*» dit Grégory. Il plonge ensuite la bouteille sans fond dans la cuvette puis dispose le ballon autour du goulot : le résultat est négatif. Grégory propose alors de faire un trou sur le côté de la bouteille «*pour que l'air passe et gonfle le ballon*».

La réussite de l'expérience est alors le fruit du hasard : pendant l'attente d'un cutter, Grégory soulève inopinément la bouteille puis la replonge : le ballon se gonfle et il en est aussitôt averti par les spectateurs tout heureux qui indiquent à l'équipe 3 la façon de gonfler le ballon.

L'analyse de la réussite n'est pas la même pour les deux élèves de l'équipe 4. Pour Grégory, l'échec initial était dû au fait que «*la bouteille était collée au fond et l'air ne passait pas*» ; Erika reste sur la proposition initiale : plus la quantité d'eau dans la cuvette est importante, plus le ballon doit gonfler ; mais la vérification expérimentale donne un résultat négatif.

A l'issue de ces expériences, il a été demandé aux élèves de répondre par écrit aux trois questions suivantes :

- Dessine l'expérience au début et à la fin.
- Explique le tour de magie de Fortiche.
- Que veulent montrer les deux tours de magie : «l'eau qui ne coule pas» et «la bouteille gonfle-ballon» ?

Le maître a effectué lui-même plusieurs fois l'expérience de la bouteille gonfle-ballon devant les élèves en prenant un récipient transparent ; il leur a demandé de bien observer ce qui se passait, mais il n'a pas précisé - volontairement - de porter l'attention sur les niveaux d'eau dans le récipient et dans la bouteille.

Les élèves ont plutôt dessiné que schématisé les différents récipients, si bien qu'il a été impossible de savoir quelle représentation ils avaient faite des niveaux d'eau.

Cette inexploitation des réponses nous a conduit à programmer le lendemain une séquence de 50 minutes ; deux schémas de l'expérience (avant et après manipulation) devaient être complétés en précisant le niveau de l'eau dans la bouteille et en localisant l'air à l'intérieur du système bouteille-ballon. Les résultats sont donnés page suivante.

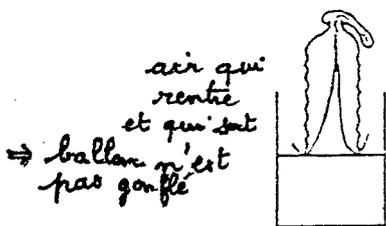
Résultats pour la bouteille gonfle-ballon

Sur le schéma avant manipulation

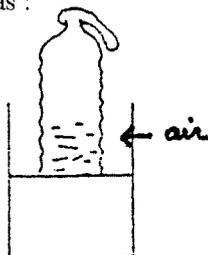
* 16 élèves sur 26 (62%) ne dessinent pas d'air dans le ballon au départ :



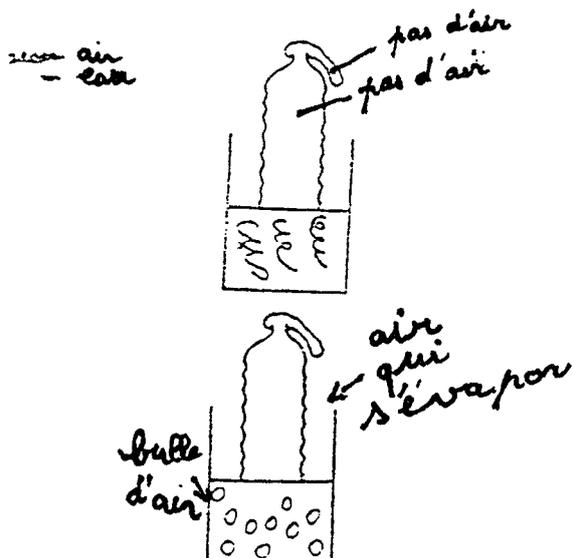
Aurore indique que le ballon ne peut pas se gonfler car l'air (du système ballon-bouteille) rentre et sort tant que la bouteille sans fond n'est pas plongée dans l'eau :



* La présence d'air dans la bouteille fait quasiment l'unanimité (88%).
Cécile P. le situe en bas :

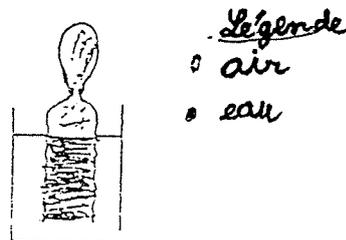


Erika et Coraline ne le représentent pas mais indiquent la présence d'air dans l'eau, la première sous forme de filets, la seconde sous forme de bulles.

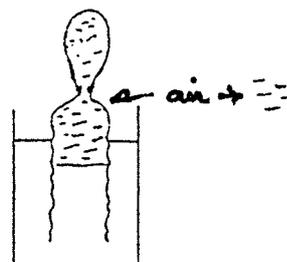
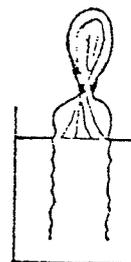


Sur le schéma après manipulation

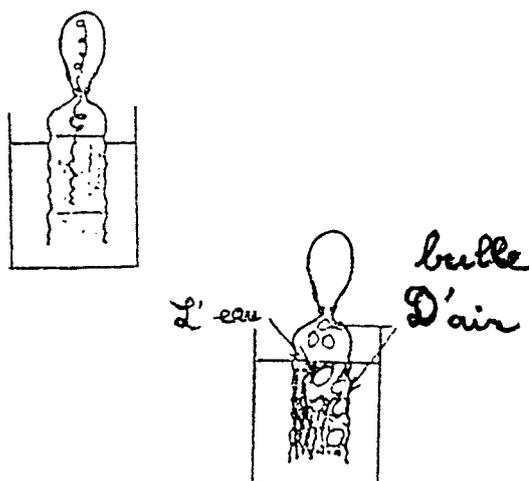
* 16 élèves (62%) dessinent des niveaux d'eau identiques dans le récipient et dans la bouteille.
* tous les élèves représentent l'air dans le ballon :



Pour Aurore, l'air qui ne peut plus sortir gonfle le ballon :



Pour gonfler le ballon, Erika fait monter les filets d'air dans la bouteille et le ballon, Coraline fait monter ses bulles.



L'analyse de ces productions montre que pour les élèves l'eau monte dans la bouteille et chasse l'air dans le ballon ; d'ailleurs, pour beaucoup d'entre eux, le ballon est vide d'air au départ («la nature a (peut-être) horreur du vide ! ?»). Cet air vient :

- de l'eau de la cuvette pour 4 élèves dont Erika de l'équipe 4 : son expérience (cf. page suivante) était tout à fait conforme à sa logique.

- de la bouteille pour les autres, mais il est en mouvement au départ si l'on en croit Aurore qui le «piège» dans la bouteille en plaçant le ballon.

Le recueil de ces conceptions individuelles permet de comprendre la logique des réponses et des comportements des élèves tout au long de l'activité.

II - Chez les enseignants en formation initiale

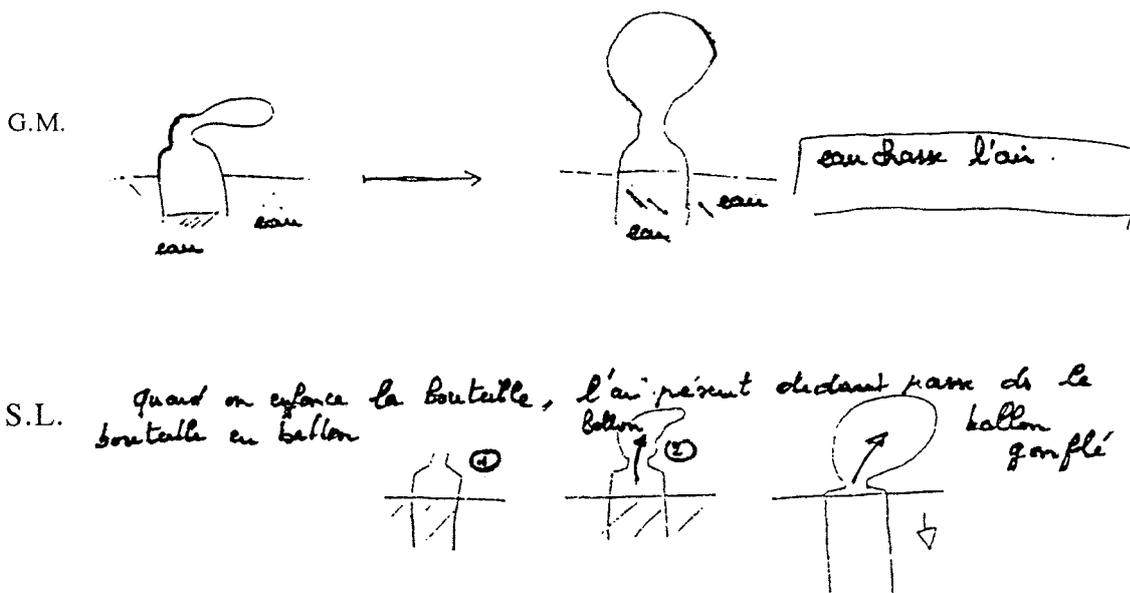
Le même document que celui distribué aux élèves a fait l'objet des questions suivantes :

- Expliquez ce tour de magie.
- Décrivez avec précision comment vous vous y prendriez pour le réaliser vous-même.

La majorité (99% ; 1 non réponse) explique le phénomène comme les enfants, à savoir : l'eau monte dans la bouteille et chasse l'air dans le ballon.

Les termes utilisés par les adultes relèvent d'ailleurs de l'anthropomorphisme : «L'air est prisonnier dans la bouteille» (J.M.M.), «il est chassé» par l'eau et «n'a pas d'autre issue que d'aller dans le ballon» (J.L.) «qui le recueille» (7) !

Le niveau de l'eau dans la bouteille est représenté par deux personnes à la même hauteur que celui de l'eau dans le récipient ; voici la façon dont elles expliquent le tour de magie :



Des explications plus conceptuelles sont fournies explicitement ou implicitement par 7 personnes sur 36 pour expliquer le phénomène :

- ainsi la notion de pression est utilisée, mais une grande confusion règne :
 - «la pression atmosphérique de l'eau est supérieure à celle de l'air si bien qu'elle pousse la pression de l'air et ainsi l'air rentre dans le ballon» (N.L.),
 - «la pression de l'eau sur l'air est supérieure à l'élasticité du ballon» (M.L.G.).

- de même la masse volumique de l'air chaud :

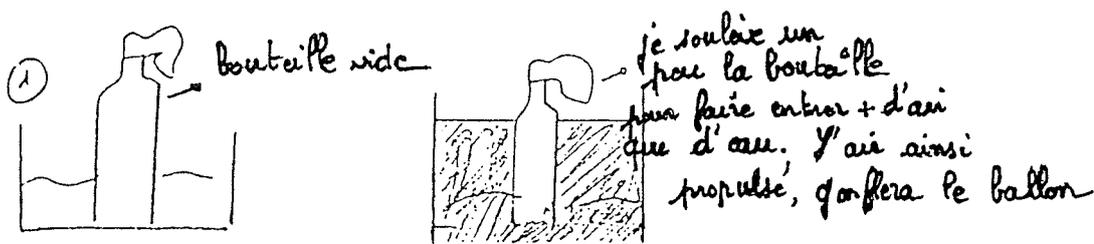
«Il y a de l'air dans la bouteille sans fond. Le gaz le plus chaud monte jusque dans le ballon. Plus on immerge la bouteille, plus il y aura de gaz dans le ballon et plus il sera gonflé» (L.C).

La flèche de déplacement de la bouteille est décodée par la majorité des personnes interrogées, mais la description de la réalisation de l'expérience pose quand même quelques difficultés ; ainsi, pour pouvoir gonfler le ballon, une personne (A.B.) transvase sous l'eau dans la bouteille l'air d'un verre. Cette réalisation est souvent précisée, voire modifiée selon les conceptions explicitées ou non ; ainsi la vitesse de déplacement de la bouteille et la direction (verticale ou oblique) de son introduction ont une influence sur le résultat : pour certains il faut «*plonger (la bouteille) doucement*», pour d'autres «*rapidement*» ; de même, plonger la bouteille de façon oblique offre l'avantage de permettre une entrée d'eau plus grande qu'une introduction verticale de la bouteille (D.G.). On peut aussi soulever légèrement la bouteille comme indiqué dans les dessins ci-dessous (M.R.M.) :

Avant réalisation

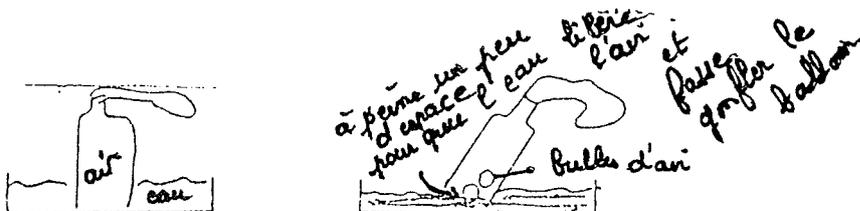
I - Expliquez ce tour de magie

La bouteille gonfle-ballon



II - Décrivez avec précision comment vous vous y prendriez pour le réaliser

La bouteille gonfle-ballon



Après réalisation de l'expérience par un enseignant, il leur a été demandé d'expliquer par des dessins le «tour de magie» dit de la bouteille gonfle-ballon.

Bien que nous réalisions l'expérience devant eux pendant qu'ils dessinaient l'expérience, le dessin des niveaux d'eau dans le récipient et dans la bouteille après manipulation a donné quelques surprises : dans un groupe d'enseignants, 10 personnes qui pensaient que les niveaux étaient égaux se sont approchées pour voir l'expérience de plus près ; 4 ont regagné leur place en ayant vu les niveaux égaux !

Nous avons noté aussi des commentaires écrits explicitant des conceptions.

Ainsi, avant manipulation, une personne écrit : *«L'eau pénètre dans la bouteille et pousse l'air qui s'y trouve, celui-ci se retrouve dans le ballon qui se gonfle. Le niveau d'eau de la cuvette diminue»*. Après manipulation, elle corrige ses conceptions initiales : *«au cours de l'expérience, le niveau d'eau dans le récipient augmente ...»* mais en précise certaines autres :

«...l'air est poussé (sa pression étant inférieure à celle de l'eau), il va dans le ballon (qui était vide jusqu'à présent), le gonflant».

Ce type de réponse explicite traduit bien, à notre avis, les interprétations de cette expérience par les enseignants.

Conclusion

La lecture de cette illustration et du texte d'accompagnement est à deux niveaux :

- réaliser la manipulation,
- interpréter le phénomène.

Face à ce document, avant manipulation, les comportements des élèves de CM₁ et celui des enseignants sont différents.

Chez les élèves, la réalisation de la manipulation n'est pas comprise, puisque même dans la réalisation effective, le résultat a été trouvé par hasard. Le tour de magie a encore gardé un côté prépondérant. Le problème scientifique à résoudre n'est donc pas identifié.

Les enseignants ont dans l'ensemble compris le message expérimental et le tour de magie a été évacué. Par contre, leurs conceptions ont perturbé la compréhension du message scientifique.

Quel devrait-être le rôle du maître dans une telle situation de classe ?

- Aider d'abord les élèves à identifier le problème scientifique posé par cette illustration.

- Les aider ensuite à décoder les éléments de l'image : récipient non dessiné et distinction entre les deux flèches.

- Faire prédire la hauteur des niveaux de l'eau dans le récipient et dans la bouteille quand le ballon sera gonflé.

On peut en effet s'interroger sur le nombre important d'élèves du CM₁ qui après manipulation ne dessinent pas correctement la hauteur de ces niveaux de l'eau.

Au-delà des conceptions très fortes qui perturbent l'observation, les difficultés nous semblent provenir des points suivants :

- l'important dans cette expérience est de faire gonfler le ballon ; l'observation porte donc sur ce dernier et non sur les niveaux,

- l'observation des niveaux n'est faite que si le maître le demande mais là encore des difficultés techniques apparaissent :

- les yeux des «spectateurs» ou des expérimentateurs ne sont pas à hauteur des niveaux d'eau,
- le phénomène n'est bien visible qu'au moment de la phase dynamique.

Les notions mises en jeu sont difficiles, en particulier pour des élèves de l'école élémentaire. En effet, comment expliquer l'augmentation de la pression de l'air alors que l'eau ne monte pratiquement pas dans la bouteille ? Thibaut par exemple écrit : *«quand on entre la bouteille dans l'eau, la pression monte en hauteur et grâce au ballon qui est élastique, il se gonfle»*. Il considère la pression comme une substance et continuera à le faire dans les séquences suivantes, tout comme Arnaud.

Démolit-on les conceptions sans reconstruire une connaissance ?

La force avec laquelle il faut appuyer sur la bouteille pour la maintenir dans l'eau n'apparaît pas sur l'illustration ; aucun élève parmi ceux ayant réalisé l'expérience n'a mentionné cet effort.

Cette observation pourrait permettre un questionnement sur la notion de pression.

Il faudrait aussi proposer une série de manipulations en faisant des prévisions sur le résultat : par exemple, plonger une bouteille sans fond dans l'eau, bouchon ouvert puis bouchon fermé et mettre en évidence l'air dans les deux cas.

CONCLUSION

Les documents analysés dans ce travail ne comportaient pratiquement aucun texte mais proposaient aux élèves des réalisations d'expériences dont les résultats annoncés sont porteurs du savoir. Or, nous avons vu que la lecture de ces images posait de nombreuses difficultés aux élèves et qu'une aide du maître était nécessaire dans une telle situation pédagogique.

Pour la grande majorité des élèves, la lecture du document ne leur permet pas de dire quel est le rôle de l'expérience proposée ; le questionnement scientifique prévu par la mise en scène de la double page ne se fait pas. De plus, la connotation de l'image dépend des conceptions spontanées de l'élève ; de ce fait, la réalisation même de certaines expériences de la double page étudiée conduit à la réalisation d'une expérience différente, donc à un détournement de sens - imperméabilité de la pâte à modeler, ballon gonflé à l'eau, ... - qui ne permet pas à l'élève de dégager une problématique même après réalisation.

Les difficultés de réalisation résident dans :

- le choix du matériel adéquat (bouteille gonfle-ballon),
- l'agencement correct des éléments de la manipulation (eau qui ne coule pas, bouteille gonfle-ballon),
- l'ordre chronologique des étapes nécessaires (bouteille gonfle-ballon).

Les conceptions initiales et la connotation donnée à l'image au départ empêchent également les élèves d'observer, lors de la réalisation correcte de l'expérience, ce que le maître souhaiterait leur voir observer.

Ce constat montre que la fonction didactique des images étudiées prévue par le manuel n'est pas remplie (et nous avons des CM₁ alors que le manuel s'adresse à des CE !).

La double page ne permet pas à elle seule la dévolution aux élèves de la situation scientifique au cours de laquelle ils construiraient seuls la connaissance : le problème en lui-même n'est pas repéré, les expériences sont prises comme des objets et non comme des moyens de résoudre le problème.

Le rôle du maître est alors d'aménager la situation proposée par le manuel en posant ou faisant repérer le problème scientifique, en faisant réfléchir au statut de l'expérience.

Nous avons constaté combien il était difficile au maître de faire changer les élèves de problématique en cours de manipulation. D'où l'intérêt sans doute de poser le problème au départ et d'introduire l'image ensuite.

Ce bilan par rapport à nos questions de départ nous amène à nous interroger sur l'économie didactique de l'utilisation de ces images.

Il semble que par rapport à la situation de physique, l'introduction des images soit assez coûteuse puisqu'elle amène souvent des «conceptions-obstacles» inutiles.

En revanche, l'utilisation de telles images ne constitue-t-elle pas une formation à la culture scientifique et à la lecture de textes scientifiques ? En effet, la mise en scène du savoir scientifique dans la double page étudiée nécessite des cheminements de lecture - entre le titre du chapitre, la présentation par un personnage, le résultat annoncé, le décodage de l'image seule, éventuellement les autres expériences présentées - auxquels les élèves ne sont pas suffisamment préparés. La lecture continue que les élèves pratiquent souvent et l'absence de culture scientifique ne leur permettent pas des prises d'indices suffisantes pour problématiser la situation.

Or, n'est-ce pas un moyen pour les former à la lecture de ce type d'écrit et à développer chez eux un esprit critique !

La façon dont les maîtres eux-mêmes décodaient ces mêmes images est aussi assez surprenante. Il est vrai que les notions de physique mises en jeu dans ces expériences sont difficiles, même pour des enseignants ayant suivi un cursus scientifique (Bac C ou D et DEUG Scientifique).

Comment un maître, polyvalent, peut-il faire utiliser le manuel si le livre du maître ne lui fournit pas suffisamment d'explications scientifiques et techniques sur les manipulations proposées dans le manuel de l'élève ?

Dominer les notions scientifiques mises en jeu dans les expériences qu'il souhaite faire réaliser, analyser les difficultés expérimentales (même pour des expériences en apparence faciles à réaliser) et les obstacles liés à la lecture du document par les élèves constituent de grandes difficultés qui peuvent peut-être expliquer le peu d'engouement pour l'enseignement de la physique en classe élémentaire ; c'est en tout cas le travail de préparation d'un maître qui veut faire réaliser des expériences scientifiques à ses élèves.

Il montre peut-être aussi la difficulté, pour un enseignant qui a compris le message scientifique de l'image, de s'abstraire totalement du phénomène physique réel lorsqu'il analyse les documents qu'il va donner à ses élèves ou qu'il rédige les textes des exercices.

BIBLIOGRAPHIE

ARVIEU Y., (1993). *Etude de quelques fonctions didactiques des images dans les manuels scolaires de sciences à l'école élémentaire*. Mémoire de DEA de Didactique des Disciplines Scientifiques, Université Paul Sabatier, Toulouse.

ASTER. Paris : INRP.

- n° 4. Communiquer les sciences. 1987.
- n° 6. Les élèves et l'écriture en sciences. 1988.

GINSBURGER-VOGEL Y., (1987). *Apprentissages scientifiques au collège et pratiques documentaires*, Paris : INRP.

GIORDAN A., MARTINAND J.L., (1986). *Signes et discours dans l'Education et la Vulgarisation scientifiques*. Synthèse réalisée à partir des Actes des Sixièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique.

SAVY R., (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*. Vol.10, n° 5, 553-560.

SÉRÉ M.G., (1985). *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Physiques, Université Pierre et Marie Curie, Paris.