

# ÉTUDE DE L'ACQUISITION ET DU RÉINVESTISSEMENT DU CONCEPT DE SURFACE PORTANTE

Daniel Favre  
Isabelle Verseils

*Selon une évaluation vérifiant l'acquisition du concept de "surface portante" par des élèves de classes de sixième (11 ans) dans le cadre d'un enseignement de biologie, il apparaît que seuls 15 % des élèves semblent pouvoir mobiliser ce concept après l'enseignement qu'ils ont reçu. Un nouveau dispositif pédagogique, visant le franchissement des trois objectifs-obstacles que nous avons identifiés, a été élaboré. À la suite de tests comportant des résolutions de problèmes non routiniers, survenus plus de trois semaines après le travail des élèves, environ 75 % des élèves ont construit le concept de surface portante. Dans les classes témoins, où l'enseignant, soit a répété son cours sur le vol animal, soit n'a procédé à aucun rappel, le nombre d'élèves s'étant approprié le concept reste inchangé.*

*Succédant à cette recherche, une enquête auprès d'autres enseignants ou formateurs montre que la moitié d'entre eux butent, comme les élèves, sur un de ces obstacles épistémologiques. L'instauration d'un "débat" socio-cognitif peut alors provoquer une évolution conceptuelle positive. Cette étude contribue à montrer l'intérêt en biologie de faire davantage porter l'évaluation des connaissances scientifiques sur l'acquisition réelle des concepts.*

Un certain nombre de recherches montre que le savoir scientifique enseigné, bien que diffusé dès le plus jeune âge, reste souvent difficilement réinvestissable (Giordan et De Vecchi, 1987) et qu'il est vite oublié quelle que soit la discipline. L'analyse de la signification de la persistance de certaines erreurs chez des élèves ou étudiants, qui ont pourtant abordé deux ou trois fois la même notion au cours de leur scolarité, pourrait peut-être permettre de comprendre et de surmonter certaines difficultés que rencontre l'enseignement des sciences.

Cette démarche demande qu'au préalable on s'interroge sur certaines caractéristiques de la connaissance scientifique et sur le processus d'apprentissage lui-même. Pour Bachelard (1938), "l'élève arrive en classe avec des connaissances empiriques déjà constituées". Ainsi, pour lui, une éducation scientifique ne se résume pas par le fait "d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture, de renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne". Il introduit la notion d'obstacles épistémologiques. Il montre que l'erreur est nécessaire, positive, normale. Les erreurs apparaissent par l'action même de la connaissance, "car la connaissance scientifique ne commence jamais à zéro mais

renverser les  
obstacles  
amoncelés  
par la vie  
quotidienne

*elle se heurte à une connaissance usuelle préexistante avec laquelle elle est en contradiction, en discontinuité*".

la structuration  
d'un concept  
peut être  
très lente

Parmi les conceptions des apprenants, certaines sont plus ou moins éloignées du concept scientifique à atteindre. Il faudra s'intéresser à celles qui pourraient faire obstacle à l'acquisition de ce savoir. Cependant une des difficultés signalée par Giordan et De Vecchi (op. cité) réside dans le fait que les représentations n'évoluent pas de manière cloisonnée. Ils montrent que la représentation de chaque concept s'intègre dans une "aura conceptuelle beaucoup plus large et interdisciplinaire". Il faudrait, disent-ils, accepter l'idée qu'un concept ne s'élabore pas à partir de l'étude d'un thème, mais que sa structuration peut être très lente (sur une année, un cycle) et envisagée à travers différents sujets d'étude. Les conceptions sont personnelles (même si leur origine est à la fois individuelle et sociale) et peuvent évoluer. Elles servent de point d'ancrage pour s'approprier d'autres savoirs, car elles constituent les "structures d'accueil" qui permettent d'intégrer de nouvelles informations et correspondent à des grilles de lecture qui trient, filtrent, élaborent l'information reçue.

Le choix que nous avons fait d'étudier l'acquisition et le réinvestissement du concept de "surface portante" a été, au départ, justifié par les raisons suivantes :

la surface  
portante,  
son aura  
conceptuelle  
concerne  
biologie  
et physique

- pour les enseignants que nous avons interrogés, ce concept ne constituait pas en soi un objectif d'apprentissage alors que cette notion figurait (à l'époque où le "vol animal" était au programme de biologie en Sixième) dans la leçon de l'enseignant et dans son résumé ;
- ce concept, qui donne du sens en biologie en permettant de coupler l'étude des structures et celles des fonctions, dépasse le cadre strict de la biologie puisque son aura conceptuelle concerne également la physique ;
- sans doute pour les raisons précédentes ce concept ne faisant pas l'objet d'une évaluation par les enseignants, il nous paraissait intéressant de vérifier dans quelle mesure les élèves de Sixième pouvaient l'acquérir directement à partir de l'étude des structures (aile, plume...).

Ce n'est qu'après le test qui nous a permis d'identifier un certain nombre de représentations-obstacles chez ces élèves, et présentait déjà un intérêt didactique, que ce travail nous a fourni une occasion d'enrichir l'étude des conditions dans lesquelles un apprenant accepte de modifier ses représentations, thème fédérateur de la recherche dans notre laboratoire. Il devenait ainsi possible d'expérimenter divers dispositifs pédagogiques dont la finalité était de favoriser de telles modifications et dont les principes pourraient éventuellement être transposables dans d'autres domaines.

## 1. LE CONCEPT DE SURFACE PORTANTE

Vergnaud (1990) définit la notion de *champ conceptuel* à partir de l'aspect interactif des concepts, comme "un espace de problèmes ou de situations-problèmes dont le traitement implique des concepts et des procédures de plusieurs types en étroites connexions". Un concept renvoie à plusieurs situations et réciproquement une situation fait appel à plusieurs concepts. Dans ces conditions, il lui paraît non pertinent d'étudier le développement ou l'apprentissage d'un seul concept.

concept lié à celui de la matière air sur laquelle on peut s'appuyer

Dans le cas qui nous concerne, l'appréhension de la notion de surface portante dépend de l'appréhension d'une autre notion, apparemment indépendante, mais qui appartient au même champ conceptuel : l'air est une matière sur laquelle on peut s'appuyer.

Situons d'emblée les limites de notre étude. Le concept de surface portante ne permet pas à lui seul d'appréhender l'action de voler. Celle-ci impliquant le déplacement au sein d'un fluide d'une surface plus ou moins portante, elle met en jeu des phénomènes locaux de surpression au-dessous et de dépression au-dessus d'une aile qui dépendent en partie de la forme de celle-ci. La compréhension de ce qu'est une surface portante nous paraît donc un préalable pour aborder des propriétés qui émergent lorsque cette surface est mise en mouvement mais qui ne font pas partie de l'étude que nous présentons ici.

Afin de préciser les limites de ce concept, nous nous sommes inspirés en partie de l'approche de Barth. En partie, car par exemple nous n'avons pas proposé aux élèves de contre-exemples. Il n'est pas possible de trouver un objet, donc présentant une surface, qui, mis en contact avec un fluide, ne constitue pas une surface portante. Même si dans notre atmosphère une bille de plomb ne fournit pas un bon exemple de surface portante par rapport à une feuille de carton, la chute de la première est quand même freinée par les molécules composant l'atmosphère. L'existence de tels "contre-exemples" pourrait engendrer par la suite des confusions associées à des simplifications abusives et de plus ils ne sont pas utiles si l'approche du concept de surface portante permet d'aborder l'aérodynamisme des objets.

identifier les attributs essentiels du concept

Pour aider les élèves dans leur démarche d'exploration, puis d'abstraction, Barth (1986) propose d'étudier la *structure opératoire du concept*. Elle définit le concept comme une étiquette, la dénomination, accompagnée d'une liste d'attributs ou caractéristiques susceptibles d'être appliqués à des exemples. L'évaluation de l'appropriation d'un concept demandera à l'apprenant de pouvoir identifier ses attributs essentiels, justifier son idée et réutiliser ses connaissances dans un autre contexte. Dans cette étude, l'approche de Barth nous a surtout servi pour nous construire un modèle du concept de surface portante en nous permettant d'identi-

fier son champ conceptuel grâce à ses attributs essentiels et aux types d'apprentissage que chacun nécessite.

À titre d'illustration et en s'inspirant du mode d'approche de Barth, la définition de la "surface portante", concept que nous avons choisi d'étudier, peut être schématisée comme ci-dessous :

### Surface Portante

*Attribut 1 : nature*

SURFACE

*Attribut 2 : qualité*

ET

LÉGÈRE\*

*Attribut 3 : qualité*

ET

RIGIDE

ET

*Attribut 4 : fonction*

POUR PRENDRE APPUI

SUR UN FLUIDE

(Le fluide ici c'est l'AIR)

\* signifiant avec un rapport surface sur poids largement positif

Les principes théoriques précédents vont être confrontés avec l'étude de l'appropriation par les élèves du concept de surface portante, confrontation nécessaire pour élaborer notre problématique de recherche.

En biologie, en classe de Sixième, l'étude de ce concept s'intégrait dans un chapitre sur le déplacement des animaux pour leurs besoins nutritionnels. Certains animaux volent pour s'alimenter, et c'est dans le cadre de ce déplacement dans l'air qu'était étudiée la surface portante. La surface portante était définie comme une surface qui s'appuie sur l'air.

une étude  
du vol  
en sixième

L'évaluation réalisée, juste après leur cours, par les enseignants et portant sur la description des ailes et sur la restitution d'expériences effectuées en classe s'est révélée très positive ; "il n'y a rien à comprendre dans cette leçon, ce n'est que de la description !" déclare l'un d'eux, aucun ne semble avoir perçu la nature conceptuelle du concept de surface portante. Or l'étude des ailes, des plumes et de leurs microstructures n'avait de sens que si les élèves avaient commencé à s'approprier ce concept. Notre évaluation, centrée sur la vérification de son acquisition, indique que seuls trois ou quatre élèves par classe semblent pouvoir mobiliser ce concept pour résoudre de nouveaux problèmes après l'enseignement qu'ils ont reçu.

Construite en collaboration avec les enseignants, cette nouvelle évaluation (appelée dans la suite du texte : "test initial") est proposée trois semaines après le cours avec l'intention que les élèves puissent mettre en évidence :

- qu'ils ont pris conscience que l'air est une matière (puisque l'oiseau s'appuie dessus) ;
- qu'ils ont identifié les propriétés indispensables des plumes pour qu'elles constituent une surface portante ;

- qu'ils sont capables de mobiliser ces connaissances dans une autre situation.

une évaluation  
ciblée sur  
le concept  
de surface  
portante

Les questions-problèmes du test sont libellées comme suit :

- 1) *Comment l'oiseau fait-il pour tenir en l'air quand il vole ?*
- 2) *Quel est le rôle des plumes dans le vol ?*
- 3) *Trouvez d'autres matériaux naturels ou artificiels qui pourraient remplacer les plumes.*
- 4) *Dans une pièce où l'on fait le vide, on lâche deux feuilles de papier identiques, que se passe-t-il ? Pourquoi ?*

L'analyse des réponses et surtout des erreurs des élèves met en évidence que les différents attributs du concept et le caractère indispensable de chacun ne sont pas clairement appropriés par les élèves.

En effet, même si un nombre important d'élèves semble avoir appris et compris l'enseignement dispensé, on observe :

... montre  
que son  
appropriation  
est très diffuse

- que les réponses sont rarement explicites ;
- que c'est souvent le résumé du cours, à la place des réponses attendues, qui est restitué. Bien souvent, la formulation des réponses comporte d'importantes similitudes avec celles de la leçon (mêmes mots, mêmes expressions, voire mêmes phrases).

Après Bachelard, de nombreux chercheurs en didactique ont souligné que les élèves arrivent avec déjà un système explicatif de ce qu'ils vont étudier. Le vol (animal ou autre) a été observé depuis longtemps par les enfants : on peut supposer qu'ils n'ont pas attendu d'arriver en Sixième pour se construire une explication de ce phénomène ! Décrire les caractéristiques d'une surface portante paraît donc insuffisant pour l'appropriation de ce concept.

Les résultats de ce test initial nous ont ainsi permis :

d'où  
l'élaboration  
d'un dispositif  
expérimental

- de formuler des hypothèses concernant les raisons de l'échec des élèves aux problèmes posés et de construire un questionnaire (pré-test) plus complet afin de mettre en évidence d'éventuels obstacles à l'acquisition et au réinvestissement du concept de surface portante ;
- d'élaborer un dispositif pédagogique supposé favorable au franchissement de ces obstacles, que nous avons repérés grâce au test initial (notre première évaluation) et validés par les réponses au pré-test, de construire un post-test pour en mesurer les effets et de comparer ces effets avec la répétition du cours standard (classe-témoin B) ou la simple mémorisation du premier cours standard (classe-témoin C).

Dans une étape ultérieure, ces nouveaux résultats nous ont conduits également à réaliser une enquête auprès des enseignants pour rechercher la présence éventuelle de ces représentations-obstacles.

Outre l'observation directe en classe, quatre moyens d'investigation ont donc été utilisés :

- 1) un test initial ;

- 2) deux questionnaires (pré-test et post-test) suivis parfois d'interviews pour compléter une information ;
- 3) un dispositif pédagogique centré sur le franchissement par les élèves des obstacles ;
- 4) une enquête auprès d'enseignants ou de futurs enseignants.

## **2. CONDITIONS DE L'EXPÉRIMENTATION**

### **2.1. Conditions d'observation**

trois classes  
de sixième  
impliquées

L'étude concerne des élèves de onze à treize ans en classe de Sixième, scolarisés en 1992 au collège de Magalas (Hérault), répartis en trois classes de vingt et un enfants (6ème B, C et D). La 6ème B et la 6ème C ont le même enseignant. Toutes les rencontres avec les élèves se déroulent pendant le cours de biologie. Seule la classe D fera ensuite l'objet d'un dispositif pédagogique comportant une approche didactique du concept de surface portante, les classes B et C font office de groupes témoins.

L'observation porte sur l'ensemble du discours pédagogique des enseignants : explications, questions aux élèves, réponses aux questions. Sont également relevés les schémas et le cours écrits au tableau, les indications qui sont données pour la lecture du livre et pour les manipulations et observations des élèves, les questions des élèves, leurs réponses et leurs réflexions.

Prendre connaissance du contenu de la leçon permet d'atteindre un double objectif :

- d'une part pouvoir tester son utilisation par les élèves ;
- d'autre part connaître l'idée que se font les enseignants de la notion à enseigner.

Cette idée sera renforcée par l'analyse du contrôle qu'ils ont proposé aux élèves.

### **2.2. Les contenus d'enseignement abordés**

Les élèves ont abordé, dans les leçons précédant celle-ci, l'étude de la structure de l'aile, les muscles du bréchet, le nom des os, dans le but de comparer l'ossature de l'aile à celle d'un membre antérieur du lapin. L'aile est présentée comme une adaptation biologique au vol. Dans une nouvelle leçon portant sur les plumes de l'aile, l'ensemble - les ailes et leurs plumes - est présenté aux élèves comme constituant la surface portante de l'oiseau.

Les enseignants conçoivent ce cours comme une description de l'aile et des plumes. Ils insistent sur les trois points suivants :

- la surface portante est réalisée par le recouvrement des plumes qui sont légères et rigides ;

caractéristiques de la surface portante traitées, mais pas leur rôle ni l'appui sur le fluide matériel qu'est l'air

- la surface de l'aile est suffisamment large pour porter l'oiseau ;
- les plumes sont imperméables à l'eau et à l'air.

De ce fait, la plupart des éléments à l'origine des caractéristiques essentielles de la surface portante sont donnés (taille importante de la surface, légèreté, rigidité) mais il n'est pas fait mention de leur rôle et de leur caractère indispensable. De plus, l'air en tant que fluide matériel sur lequel on peut prendre appui est absent de la leçon. Les enseignants introduisent bien les termes de "surface portante", mais ne s'intéressent pas à l'aspect fonctionnel du concept.

Les élèves répondent souvent aux questions comme s'il s'agissait d'un jeu de devinettes. Les expériences (chute de feuille de papier laissée à plat ou mise en boule, souffler sur une plume, la mouiller) effectuées par l'enseignant paraissent vécues comme des spectacles. Les élèves ont beaucoup de mal à faire le lien entre le schéma de la plume (au tableau) et la plume qu'ils ont pu observer précédemment à la loupe binoculaire.

### 2.3. Programme et instructions officielles

Ils désignent clairement des objectifs : *"Le problème de la recherche alimentaire permettra d'effectuer l'étude du déplacement... On ne cherchera pas à analyser tous les modes de déplacement liés aux milieux de vie. Les aspects biologiques et physiques (1) seront soulignés : appui, propulsion, progression, rôles des supports anatomiques actifs et passifs."* (Article 524-4h, Compléments de 1988 pour la classe de Sixième). Ces instructions sont-elles cependant suffisamment explicites pour les enseignants ?

### 2.4. Les manuels scolaires

de 1977 à 1990 référence à l'air de plus en plus discrète

Dans les différents manuels que nous avons consultés, il semblerait que le caractère fonctionnel de la combinaison des aspects biologiques et physiques pour expliquer le vol perde un peu de son importance durant la période de 1977 à 1990. En 1977 (Bordas), la référence à l'appui sur l'air est constante dans la leçon et dans la conclusion *"Quand un animal se déplace, il prend appui sur quelque chose de résistant : le sol dans la marche..., l'eau dans la nage, l'air dans le vol."* La référence à l'air devient ensuite plus discrète (Bordas, 1981 ; Belin, 1981 ; Bordas, 1986). La surface portante est décrite longuement mais les manuels insistent peu sur le fait que l'air est un fluide sur lequel on peut s'appuyer.

Dans le manuel des élèves, l'exposé est aussi descriptif que le cours des professeurs. La surface portante est présentée comme le produit du recouvrement des plumes. À la fin du chapitre, les autres caractéristiques de la surface portante sont énoncées dans un paragraphe où sont comparées les ailes de différents animaux : insectes, chauve-souris...

---

(1) C'est nous qui soulignons !

### 3. IDENTIFICATION DES OBSTACLES (PRÉ-TEST)

#### 3.1. Objectifs et contenus du questionnaire

Il est fondé sur les hypothèses suivantes :

- pour appréhender le concept de surface portante, il faut tout d'abord prendre conscience que l'air est une matière et que l'on peut s'appuyer dessus ;
- pour intégrer ce concept, il faut en avoir identifié toutes les caractéristiques essentielles appelées attributs.

Cette "intégration" des connaissances est vérifiée par la capacité de l'élève à les mobiliser, à les utiliser dans un autre contexte, pour résoudre des problèmes non directement traités en cours.

un pré-test  
pour évaluer  
les possibilités  
de mobilisation  
du concept  
par les élèves...

L'objet de ce pré-test est donc d'estimer si les élèves peuvent réaliser les différentes étapes de ces acquisitions à partir de l'enseignement qu'ils ont reçu. Il est composé de trois questions fermées, pour lesquelles on demande d'explicitier la réponse, et d'une question ouverte. Les questions empruntent volontairement à des sujets éloignés du cours pour éviter une reformulation automatique de phrases mémorisées par les élèves. Généralement un schéma illustre les questions.

1/ *Ces deux véhicules (le n°1 cubique, le n°2 effilé) ont la même masse, le même moteur, la même puissance. Ils démarrent en même temps sur la ligne de départ. Lequel arrivera le premier ? Pourquoi ?*

2/ *On prend deux feuilles identiques ; l'une est laissée à plat, l'autre est pliée en boule. On les lâche toutes les deux de la même hauteur. Laquelle arrivera en bas la première ? Pourquoi ?*

3/ *Un oiseau est déposé sur la lune par une équipe d'astronautes. Comme il n'y a pas d'atmosphère on lui donne un scaphandre léger, fin isolant, qui ne gêne pas ses mouvements avec une réserve d'air pour respirer. Peut-il voler ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?*

4/ *Pourquoi juste avant l'atterrissage le pilote commande l'élargissement des ailes sur les gros avions ?*

... un mois  
et demi après  
la leçon sur le vol

Ce questionnaire est présenté aux trois classes en début de cours de biologie un mois et demi après la leçon sur le vol animal. Les enfants sont libres de répondre aux questions et le temps n'est pas limité. Après le cours, et après rapide lecture des réponses, une interview auprès de quelques élèves permet d'éclaircir le sens de certaines de leurs réponses.

Aucun corrigé n'est donné par le professeur.

La construction d'un tel questionnaire s'est avérée délicate : les questions doivent être précises, compréhensibles pour un élève de Sixième. Il est également fréquent de constater qu'un détail dans l'énoncé focalise l'attention de l'élève. Pour aider dans ce travail, la formulation du questionnaire a été préalablement testée avec des élèves de Sixième dans le col-

lège de la Grande Motte où Isabelle Verseils était enseignante.

### 3.2. Présentation et analyse des résultats

Les trois classes semblent se comporter de façon assez semblable (cf. tableau). En fonction des thèmes, les performances de chaque classe varient, mais les pourcentages des différents types de réponses sont pratiquement semblables.

Pour chaque question, les réponses sont classées en :

- *réponse attendue* : qui contient des résultats scientifiques énoncés de façon suffisamment explicite pour permettre une compréhension univoque ;
- *réponse implicite* : qui donne un résultat correct, mais la formulation, ou l'absence d'explication ne permet pas de s'assurer d'une réelle compréhension ;
- *réponse alternative* : qui montre de façon claire qu'il y a méconnaissance du concept – une absence de réponse est considérée comme une réponse alternative.

Ce classement est validé par des interviews des élèves et cela chaque fois que le niveau de formulation laisse planer un doute : l'élève pourrait avoir une bonne intuition de la réponse à donner au problème mais n'arriverait à trouver les mots adéquats pour l'exprimer. L'organisation d'interviews nous a permis ainsi de lever certaines ambiguïtés car les enfants de cet âge présentent une qualité d'expression orale bien supérieure à leur expression écrite. Les réponses dites implicites sont catégorisées ainsi quand l'élève n'arrive pas à justifier sa réponse.

classement  
des réponses en  
trois catégories,  
validé par  
des interviews

Pourcentages de réponses	6ème D	6ème C	6ème B
Attendues	31,25	33,75	26,25
Implicites	20,00	27,50	26,25
Alternatives	48,75	38,75	47,50

La Sixième C, avec un taux de réponses attendues le plus élevé et un taux de réponses alternatives le plus faible, présente une performance globale légèrement supérieure aux autres classes.

Le nombre d'élèves qui semblent avoir assimilé la notion de surface portante et le rôle de l'air est quasiment identique pour chaque classe : 3 en Sixième D ; 4 en Sixième C ; 3 en Sixième B. Un élève est considéré comme ayant compris, s'il donne quatre réponses attendues, ou, cas le plus souvent rencontré, trois réponses attendues et une implicite dont l'ambiguïté est levée par une des trois autres réponses.

Pour les réponses alternatives, nous trouvons plusieurs cas de figure :

le concept  
semble assimilé  
pour 3 ou 4  
élèves par  
classe de 21

- l'élève ne donne pas de réponse ;
  - il évite la question :
    - . en répondant par des évidences (Q4: "Pour mieux atterrir") ;
    - . en s'attachant à un paramètre annexe, à un détail de l'énoncé (Q3: "l'oiseau peut voler car on lui donne de l'oxygène, donc il peut respirer") ;
    - . en inventant l'énoncé (Q1 : "C'est la voiture n°1 qui arrivera en premier car elle a plus d'essence") ;
  - il donne une réponse floue (Q1 : "C'est la voiture n°2 car elle a une forme qui accélère"), ou il utilise un mot magique qui tient lieu d'explication (Q2 : "C'est la feuille en boule qui arrive la première au sol parce qu'elle est plus lourde", Q3 : "Oui il peut voler car il y a l'apesanteur (ou la pesanteur)");
  - l'élève donne une réponse qui manifeste l'existence de l'idée-obstacle (ne tenant pas compte de l'air par exemple).
- Ce sont donc ces derniers types de réponses qui permettent d'inférer les obstacles en jeu.

#### • L'aérodynamisme (question 1)

La situation est assez familière (voitures). Globalement, plus les questions font appel à des situations familières (questions 1 et 2), plus on trouve de bonnes réponses, même si l'explication est parfois insuffisante. Les réponses attendues sont nombreuses.

des réponses  
attendues pour  
l'aérodynamisme

Le type de réponse alternative le plus fréquent est que la voiture n°2 arrivera la première car elle est plus longue. Lors de l'interview, les élèves expliquent qu'au moment de l'arrivée, la voiture à l'avant allongé (n°2) franchira la ligne la première.

L'autre type de réponse alternative fréquent (" les voitures arriveront en même temps ") découle de l'absence de prise en compte de l'air

#### • L'expérience avec les feuilles (question 2)

Cette expérience a déjà été faite en cours par l'enseignant en Sixième C et B, apparemment sans réel profit puisque le taux de réponses attendues de la classe de Sixième D se situe entre celui des classes de Sixième C et B. La forte proportion de réponses implicites en Sixième C et B nous confirme qu'une attitude passive de l'élève, qui ne permet pas une recherche personnelle d'explication, a de fortes chances de déboucher sur une absence de compréhension.

observation  
de l'expérience  
en classe peu  
profitable

La plus fréquente des réponses alternatives est : "La boule arrivera en bas la première car elle est plus lourde." Cette réponse accrédite l'idée que pour ces élèves, lorsqu'un objet change de forme, il change de poids. Peut-être qu'à leur âge, la distinction entre poids et densité n'est pas claire, mais aucun enfant ne fait allusion dans ses réponses, y compris lors des interviews, à ce qui pourrait correspondre à un changement de densité.

• **Importance du rapport surface/poids  
(question 4)**

sur tout  
des réponses  
intuitives sans  
explication

La proportion de réponses attendues diminue par rapport aux précédentes.

Beaucoup de réponses intuitives sont fournies (exemple : pour ralentir), mais sans l'explication attendue : augmentation de la surface. Pourtant, l'élargissement des ailes du rapace lors de ses atterrissages était intégré au cours ! Les élèves entrevoient le mécanisme, mais leurs connaissances ne sont pas assez construites pour leur permettre de développer une argumentation.

Le rôle d'orientation attribué à l'élargissement des ailes constitue l'explication alternative la plus fréquente.

• **L'air, élément indispensable pour le vol  
(question 3)**

Ici, il n'est pas fait référence à une situation familière. Aussi, le nombre de réponses attendues et implicites est faible. Le scaphandre est pour beaucoup le point central de l'explication :

- "Il est léger, alors l'oiseau peut voler" ;
- "Il est lourd, alors l'oiseau ne peut pas voler" ;
- "Le scaphandre ne gêne pas les mouvements, donc l'oiseau peut voler" ;
- "Le scaphandre gêne les mouvements, donc l'oiseau ne peut pas voler".

évocation  
de poids,  
d'apesanteur,  
mais pas d'air

D'autres font intervenir des mots dont la simple énonciation génère, à leurs yeux, une explication : "l'apesanteur" ; "la pesanteur" ; "la pression atmosphère".

Ces mots sont utilisés quelle que soit la réponse (positive ou négative). Ainsi, deux formes d'interprétation apparaissent : une par le poids ; une par l'apesanteur. Aucune n'associe le vol à la présence de l'air.

Ainsi ce pré-test permet de définir trois obstacles :

• **L'air n'est pas matériel.**

L'enfant raisonne comme si l'air n'existait pas. Comment dans ce cas imaginer que la surface portante puisse s'appuyer dessus ?

pour l'enfant  
l'air n'existe pas

Cet obstacle a déjà été plusieurs fois décrit par les recherches en didactique (Manfredi et coll., 1989 ; Séré et Tiberghien, 1989), dans les conditions les plus fréquentes, l'air ne se voit pas, ne se sent pas, il est rarement palpable. Il semble difficile aux élèves d'appréhender les gaz. C'est seulement dans certaines situations comme lors d'un déplacement rapide qu'ils réalisent sa présence.

- ***Il y a une relation directe entre la forme et le poids et c'est le poids qui détermine la capacité à voler.***

son attention est focalisée sur la caractéristique légèreté

Parmi les caractéristiques essentielles listées dans le cours : taille importante de la surface, légèreté, rigidité..., les élèves semblent avoir focalisé leur attention sur une seule : la légèreté. C'est en fonction de ce critère unique qu'ils vont expliquer le vol. Bien sûr les élèves possédaient très certainement cette idée avant la leçon. Mais l'enseignement proposé, soit ne leur a pas permis de repérer clairement les autres caractéristiques essentielles de la surface portante, soit, s'ils les ont repérées, n'insiste pas suffisamment sur leur caractère indispensable.

Cette explication du vol par le poids est liée pour certains élèves à une correspondance entre poids et forme. La feuille de papier pliée en boule est conçue comme plus lourde que dépliée. Lors des interviews, les élèves ayant fait ce type de réponses ne peuvent la justifier davantage. Des adultes (voir partie 6, plus loin) peuvent donner également ce type de réponse sans pouvoir plus l'explicitier alors que leur formation – au minimum Bac + 3 – leur donne des ressources linguistiques plus grandes que celles des élèves.

Cette correspondance poids/forme présente des similitudes avec celles observées par Piaget chez les enfants qui établissent un lien de dépendance entre quantité et hauteur d'eau dans un récipient, les enfants ayant fait abstraction de sa section ; dans notre cas les enfants font, également, dépendre de manière non pertinente une variable ici le poids d'une autre : la forme.

- ***En apesanteur, tout vole.***

Le concept de pesanteur et celui de pression atmosphérique ne sont pas distincts ainsi un grand nombre d'élèves associent l'absence d'air et l'absence d'attraction terrestre.

il associe l'absence d'air à l'absence d'attraction terrestre

Cet obstacle nous paraît beaucoup moins évoqué dans la littérature didactique. Vivant à la surface de la Terre, notre "expérience première" concernant la pesanteur, qui affecte les objets en les rendant pesants, n'est pas séparée dans ses effets de la présence plus ou moins résistante de l'air. De cette expérience semble être déduit un système explicatif corollaire : "en l'absence d'atmosphère les objets n'ont plus de poids", lui-même confirmé en apparence par des images médiatisées : dans le vide (de l'espace circumterrestre) les objets semblent flotter et ne tombent pas. Les images télévisées de l'espace décrivent des mouvements lents qui peuvent évoquer le vol, et les commentaires sur le "flottement" des astronautes sont parfois ambigus.

Le pré-test a donc permis de faire émerger les représentations des élèves comme le recommande Migne (1969). Mais pour que ces représentations erronées puissent évoluer Giordan et De Vecchi invitent à les "transformer par paliers successifs" soit par une confrontation avec la réalité qui

placer l'élève  
au centre  
du processus  
d'apprentissage  
pour faire évoluer  
ces trois  
représentations-  
obstacles...

contredit la représentation initiale, soit par une confrontation entre différentes conceptions d'élèves (conflit socio-cognitif). Il s'agit comme le préconise Piaget (1973) de placer l'apprenant au centre du processus d'apprentissage. Le champ sémantique relatif à cette construction du savoir fonctionne par "assimilation" et "accommodation", c'est-à-dire par incorporation d'éléments du monde extérieur aux structures cognitives du sujet, celles-ci s'ajustent, se réorganisent progressivement par abstraction réfléchissante et permettent ainsi l'apparition de connaissances nouvelles, pas de connaissance des objets sans action sur eux.

La reconnaissance des trois représentations-obstacles à l'acquisition du concept de surface portante donne la possibilité, comme le propose Martinand (1986), d'exprimer des objectifs pédagogiques en termes d'obstacles franchissables, les qualifiant d'*objectifs-obstacles*. Pour cela, il faut au préalable déterminer un nombre limité de progrès possibles et significatifs.

... pour lesquelles  
se pose la  
prégnance  
du déjà-là

Pour ces trois obstacles semble se poser la prégnance du "déjà-là" (Bachelard op. cité) parfois renforcé ou induit par l'expérience sensible. Ce "déjà-là" témoigne sans doute d'une tentative d'explication, d'un souci de rendre cohérents et intelligibles les phénomènes dont nous sommes témoins dès notre plus jeune âge. Cependant peu explicites, les préconceptions ainsi élaborées peuvent s'opposer à de nouveaux apprentissages car "les élèves ignorent le plus souvent ce dont ils doivent se dessaisir" (Favre, 1993). Pour cela un dispositif pédagogique intégrant les apports théoriques précédents devient nécessaire.

## 4. LE DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE EXPÉRIMENTAL

### 4.1. L'objet principal du dispositif

Il consiste à réunir les conditions favorables au dépassement de ces trois obstacles épistémologiques à l'apprentissage du concept de surface portante : des activités incitant les élèves à se confronter aux obstacles, de manière à construire des explications par confrontation d'idées.

Dans un premier temps, nous devons construire la séquence d'apprentissage en sélectionnant comme objectif le franchissement de certains obstacles épistémologiques pour ceux des élèves qui en ont besoin. Pour les autres, l'occasion leur est donnée d'élargir, un peu plus que ne l'a fait le cours, le domaine d'application du concept et, par là, d'en améliorer sa compréhension.

un dispositif  
de re-médiation...

Il s'agit donc d'un dispositif de re-médiation (Charnay et Mante, 1992), non pas dans le sens où chaque erreur va trouver un remède, mais plutôt d'une nouvelle médiation entre le savoir et l'élève. Ce nouvel acte d'enseignement, proposant aux élèves de résoudre des problèmes dans des

... appliqué dans  
une seule sixième  
la classe  
expérimentale

situations non familières, doit permettre aux enfants d'effectuer des comparaisons et de trier des connaissances réinvestissables, ce qu'un premier enseignement n'a pas réussi à faire.

L'élaboration de ce dispositif d'apprentissage a lieu avec l'enseignant de la Sixième D car il sera appliqué dans sa classe, les autres classes servant de classes témoins.

Nous avons essayé de faire en sorte que l'ordre des thèmes proposés respecte les différentes étapes de l'abstraction :

- Perception-Comparaison : c'est le repérage des différents attributs essentiels du concept ;
- Vérification de l'inférence : elle débouche sur la formation de la définition ;
- Généralisation : le domaine de validité est trouvé, les connaissances sont transférables.

#### 4.2. Les activités

La séquence est découpée en quatre thèmes, chacun ayant un objectif précis et limité.

- **Thème 1 : Analyse d'exemples  
pour caractériser les attributs du concept**

Les élèves doivent formuler les conditions nécessaires au vol (2) après avoir recherché sur plusieurs exemples ce qui permet de voler : *"Qu'est-ce qui permet de voler : en parachute ; à l'avion ; à l'oiseau ; au cerf-volant ; à la chauve-souris ? Trouver les éléments communs et préciser les principes du vol."* Cela dans le but de faire émerger les caractéristiques essentielles d'une surface portante.

- **Thème 2 : Manipulations pour éprouver  
la réalité de l'air**

approche  
sensorielle de la  
présence d'air

À partir d'une approche sensorielle de l'air : tactile, visuelle, et des manipulations, nous cherchons à ce que les élèves prennent conscience de sa réalité : *"Comment peut-on voir l'air ou le sentir ? Expériences à faire : 1- Aspirer dans une seringue de l'air puis de l'eau. Que se passe-t-il quand on appuie doucement sur le piston ? Comment l'eau peut-elle sortir puisque le piston n'appuie pas dessus ? 2- Balancer le bras très vite ou une feuille rigide devant le visage, décrivez et expliquez ce qui se passe."* Ce thème permet aux élèves de sentir la présence de l'air. L'expérience avec des élèves montre que dans le premier cas ils sont amenés à faire l'hypothèse qu'il y a quelque chose (de matériel) dans la seringue qu'ils ne voient pas mais qui pousse l'eau quand ils actionnent le piston. Dans le second, ils perçoivent par leur sensibilité proprioceptive, que l'air est un milieu qui freine les déplacements et qui leur résiste, il devient donc plausible que l'on puisse s'appuyer dessus.

---

(2) Il s'agit ici du vol plané ou actif et non du "vol" balistique, les interviews montrent que les élèves ne les confondent pas.

• **Thème 3 : Aérodynamisme et vol**

provoquer  
des contrastes

Son but est de faire réfléchir les élèves sur les différentes caractéristiques que nécessitent le vol et l'aérodynamisme : "Avec ou contre l'air ? Chercher des exemples de situations dans lesquelles on utilise la résistance de l'air ou le vent, et d'autres où on limite cette résistance." Ce travail devrait permettre à la fois de repréciser les attributs essentiels de la surface portante (et de voir leur constance et leurs présences simultanées à travers différents exemples) et de comparer ces caractéristiques à celles de l'aérodynamisme. Il s'agit donc de provoquer des contrastes plutôt que de donner de stricts contre-exemples, pour discerner et intégrer les caractéristiques du concept.

• **Thème 4 : Analyse d'une situation non familière**

une planète  
sans air

Ultime étape dans l'acquisition d'un concept, ce thème suscite un réinvestissement des connaissances dans une situation qui n'a pas été décrite en classe : "Imaginons une planète comme la Terre mais sans air. Sur cette planète imaginaire, on prend une feuille de papier de 2 grammes et une petite boule de deux grammes également. On les lâche ensemble à 1,5 mètre de hauteur. Que va-t-il se passer ? Justine dit que les deux vont arriver ensemble sur le sol ; Nicolas affirme que la boule touchera en premier. Qui a raison ? Expliquer pourquoi."

Le raisonnement explicatif demandé aux élèves permet une vérification de l'acquisition du concept ainsi que son domaine de validité.

**4.3. Le mode de gestion des activités**

importance de  
la confrontation  
d'idées dans  
chaque petit  
groupe

Les élèves travaillent en petits groupes de quatre ou cinq. Chaque groupe doit donner une seule réponse par question, ce qui provoque des débats, surtout pour le thème 4 qui propose une confrontation d'idées entre deux personnes. Les assertions contradictoires obligent les élèves à prendre position et ensuite à devoir justifier ce choix.

Pour cela, ils doivent analyser toutes les données du problème pour construire leur explication, la formuler, la préciser, argumenter pour la faire comprendre et accepter aux autres. C'est en fonction de la plausibilité des arguments avancés qu'un système explicatif est choisi et que le problème est résolu. Ici, la discussion a pour objet le caractère indispensable de la présence de l'air pour la surface portante, totalement méconnu par certains élèves.

Cette confrontation devrait être favorable à une structuration des connaissances.

## 5. QUELLE ÉVOLUTION DES SAVOIRS ? (LE POST-TEST)

### 5.1. Précautions méthodologiques

deux types de  
classe témoin

Évaluer l'impact d'un dispositif pédagogique en terme d'acquisition ou d'évolution d'un savoir, paraît assez difficile. Aussi avons-nous pris plusieurs précautions méthodologiques. La Sixième C constitue notre classe témoin n°1, les élèves vont dans ce cas affronter les questions du post-test sans avoir eu aucun rappel des notions abordées dans la leçon sur le vol animal. La Sixième B (classe témoin n°2) va bénéficier d'une nouvelle leçon sur le vol animal, l'enseignant a pour consigne de reproduire la leçon effectuée en début d'année pour voir si une simple ré-évocation a un effet. Le post-test n'est pas annoncé aux élèves, il est proposé trois ou quatre semaines plus tard pour limiter les effets d'une mémorisation superficielle et à court terme.

La comparaison des réponses aux questions du pré-test et du post-test pour le même thème permet de confronter les systèmes explicatifs utilisés et ainsi d'examiner si le modèle explicatif utilisé par chaque élève est convenable et cohérent tout au long des quatre questions. C'est à partir de l'ensemble des réponses que l'on peut juger de l'intégration du concept par l'élève.

Les objectifs d'évaluation poursuivis par ce questionnaire sont identiques à ceux du pré-test. Le post-test comporte quatre questions-problèmes qui se recoupent parfois, il reprend les mêmes thèmes dans un ordre différent afin d'éviter une reformulation par mémorisation du pré-test. Enfin les questions sont formulées d'une autre manière et proposent d'autres situations que celles abordées au cours du dispositif pédagogique avec les élèves de la Sixième D. Les questions 1 à 3 sont accompagnées d'un dessin explicatif.

un post-test  
différent du  
pré-test par  
sa forme mais  
pas vraiment  
par son fond

*1/ Dans une pièce où l'on fait le vide, on effectue l'expérience suivante : une personne munie d'un scaphandre pour aller dans le vide, lâche deux feuilles de papier identiques, de la même hauteur. L'une est pliée en boule, l'autre est laissée à plat.*

*Que va-t-il se passer ? Pourquoi ?*

*2/ Ces deux jouets de même poids (petits véhicules à roues de formes différentes) sont lâchés au sommet d'un plan incliné. Lequel arrivera en bas le premier ? Pourquoi ?*

*3/ Deux copains sautent en parapente. Le parapente de Nicolas est troué.*

*Que va-t-il se passer ? Pourquoi ?*

*4/ Un cosmonaute sort de sa navette spatiale, il est dans l'espace en apesanteur, il ne pèse rien. Peut-il voler avec un deltaplane ? Pourquoi ?*

## 5.2. Analyse des résultats

Pourcentages de réponses	6ème D classe expérimentale	6ème C classe témoin n°1	6ème B classe témoin n°2
Attendues	63,75	27,50	32,50
Implicites	11,25	20,00	17,50
Alternatives	25,00	52,50	50,00

Les réponses fournies par les élèves de la classe où a eu lieu le dispositif pédagogique, diffèrent sensiblement de celles des autres classes.

- **L'aérodynamisme (question 2)**

Les bonnes performances des trois classes peuvent s'expliquer par l'aspect familier de la situation. Cependant, le taux de réponses attendues en Sixième D dépasse 80 % et il n'y a pas de réponses implicites dans cette classe.

- **Importance de la surface d'appui et absence d'air (question 1)**

différences sensibles entre les réponses de la classe expérimentale et celles des classes témoins

La présentation de l'expérience ressemble beaucoup à la deuxième question du pré-test, mais ici il n'y a pas d'air. Beaucoup d'élèves en Sixième B et C (moins en Sixième D) ne prennent pas en compte ce changement de situation. Peut-être n'ont-ils pas correctement lu l'énoncé au moment du test, mais les interviews de vérification indiquent que l'énoncé ne pose pas de problème de compréhension.

- **Importance du rapport surface/poids (question 3)**

Pour la Sixième D, on observe un taux de réponses attendues légèrement supérieur aux autres classes. Mais le taux de réponses implicites est élevé dans les trois classes. La question, peut-être trop évidente, ne sollicite pas suffisamment d'explication.

- **Le vol est-il possible sans air ? (question 4)**

L'intérêt de cette question réside dans le fait qu'elle fait intervenir une confusion fréquente entre le vol et l'apesanteur. L'idée qu'en apesanteur tout vole (donc pas besoin d'air) ne se trouve que chez deux élèves seulement en classe de Sixième D alors qu'elle est très répandue en Sixièmes C et B.

En conclusion, l'évolution quantitative en Sixième D est nette. Les réponses attendues ont doublé par rapport à celle

évolution nettement positive dans la classe expérimentale

la différence de traitement des 2 classes témoins n'a pas d'effet

dans la classe expérimentale seulement 4 élèves sur 21 n'ont pas progressé

du pré-test. Les réponses alternatives ont diminué de pratiquement 50 %, les réponses implicites de 43 %. Le nombre d'élèves ayant intégré le concept est passé de trois (pré-test) à quinze (post-test).

En Sixièmes B et C, il n'y a pas d'évolution sensible. En effet, même si le nombre des réponses attendues a légèrement augmenté en Sixième B par rapport au pré-test, alors qu'il a légèrement baissé en Sixième C, le taux de réponses alternatives, lui, a progressé dans les deux classes. De plus, et c'est important du point de vue de l'enseignant, le nombre d'élèves ayant atteint l'objectif n'a pas augmenté, en Sixième C il passe de quatre (pré-test) à trois (post-test), en Sixième B, il reste de trois. On peut également remarquer que le rappel du cours effectué par l'enseignant en Sixième B ne modifie pas les performances des élèves ni ne les distingue de celles de la Sixième C. Cette absence d'effet n'est pas une surprise mais encore fallait-il le vérifier. Certains élèves auraient pu utiliser le rappel des contenus concernant les surfaces portantes pour, par leur seule activité et par mémorisation des problèmes que nous leur avons posés, franchir certains des trois obstacles que nous avons identifiés.

Sur le plan qualitatif, les réponses ont tendance à être plus explicites dans les trois classes. C'est peut-être la conséquence d'une familiarisation des élèves avec ce type d'exercice.

On note également la persistance des comportements d'évitement de la question posée en Sixièmes C et B alors que ceux-ci ont pratiquement disparu en Sixième D.

Pour le même individu, en classes de Sixièmes C et B, les explications fournies au post-test sont fréquemment identiques à celles du pré-test.

Dans la classe de Sixième D, six élèves n'ont pas atteint l'objectif mais deux d'entre eux, tout en conservant l'idée de vol en apesanteur, donnent trois réponses attendues sur quatre. Seulement quatre élèves sur vingt et un n'ont pas progressé :

- soit ces élèves disposent de trop nombreuses conceptions bloquantes et dans ce cas, plusieurs séances étalées dans le temps auraient été nécessaires ;
- soit le travail au sein du groupe n'a pas été bénéfique. En effet, trois d'entre eux appartenaient à un groupe de cinq filles peu dynamiques. L'absence de motivation de cette équipe où un effort d'explicitation ne semble pas avoir été fourni, s'est traduite par une formulation des réponses par simplement une ou deux élèves. La composition des groupes doit peut-être faire partie des fonctions de l'enseignant ;
- soit les élèves présentent des carences plus générales. Deux d'entre eux se trouvent en situation d'échec scolaire du fait de leurs lacunes cumulées. Il s'agit alors de problèmes (souvent liés) de compréhension, de formulation, voire de problèmes psychologiques.

## 6. DÉBAT SOCIO-COGNITIF ET ACQUISITION DU CONCEPT DE SURFACE PORTANTE CHEZ LES ENSEIGNANTS OU FUTURS ENSEIGNANTS

Lors de la présentation (3) de la première partie de ce travail à différentes catégories d'adultes, nous leur avons posé le problème suivant :

*"Si sur la lune, où il n'y a ni air ni atmosphère, un cosmonaute lâche en même temps une feuille de papier pliée en boule et une autre laissée à plat, quelle est celle qui atteint le sol lunaire en premier ? Parmi ces trois réponses :*

*a) elles atteignent en même temps le sol ;*

*b) c'est la feuille pliée en boule qui arrive en premier ;*

*c) aucune parce que "dans le vide tout flotte" ! laquelle choisissez-vous ?"*

des  
représentations-  
obstacles  
persistent chez  
les adultes

Nous avons été surpris de constater que la réponse b et surtout la réponse c étaient choisies par un grand nombre de personnes ayant au moins un niveau bac + 3. En reproduisant cette situation trois années de suite avec plusieurs centaines de personnes, nous avons observé une constance dans la proportion des réponses c :

Catégories de publics	enseignants stagiaires du primaire	instituteurs	enseignants stagiaires du secondaire en sciences naturelles	étudiants en DEA de didactique des disciplines scientifiques	enseignants -chercheurs de toutes disciplines excepté la physique	formateurs d'enseignants
Proportion de réponses c	59 des 84	17 des 33	14 des 55	3 des 6 (comportant une majorité de physiciens)	4 des 10	14 des 35

Ce résultat semble indiquer que les représentations-obstacles "résistent bien" malgré l'enseignement scientifique suivi par la plupart de ces personnes.

incitation  
à présenter  
et à justifier son  
point de vue,  
publiquement

Nous avons perfectionné le dispositif en permettant d'instaurer un véritable "débat" socio-cognitif plutôt qu'une situation conflictuelle. Comme pour les élèves, l'incitation à présenter publiquement son point de vue et à le justifier fonctionne bien. Nous l'avons, dans le cas des adultes, précédé d'une déclaration justifiée sur le plan épistémologique : *"tout le monde a de "bonnes" raisons de penser ce qu'il pense et ces raisons sont tellement bonnes pour mieux comprendre qu'elles méritent d'être exposées publiquement"*. Cette déclara-

(3) C'est lors d'une communication de ce travail aux 5èmes Rencontres de Didactique de la Biologie à Barcelone en 1993, qu'est née l'idée de prolonger auprès des enseignants cette étude effectuée avec les élèves de Sixième.

ration incite à se détacher en partie de la peur de se tromper et de paraître stupide au regard des pairs, un peu moins utile chez les enfants de onze ans, elle nous paraît indispensable pour que des adultes puissent se centrer sur la question qui pose problème plutôt que sur leurs vulnérabilités en groupe.

la reformulation  
du point de vue  
adverse facilite  
le "lâcher"  
de l'ancienne  
représentation

Cependant, le dépassement de l'obstacle constitué par le fait de ne pas avoir isolé le concept de vide de celui d'apesanteur est beaucoup plus rapide quand on leur demande de reformuler le point de vue adverse. Cela ne leur est pas toujours facile, mais quand le partisan de a parvient à reformuler l'argumentaire d'un partisan de c, il lui apporte une démonstration du fait qu'il l'a vraiment écouté et développe une tolérance à d'autres points de vue que le sien. Cette confirmation affective de l'autre joue selon nous un rôle important dans le "lâcher" de l'ancienne représentation en limitant son impact négatif sur sa sécurité de base. Le lâcher par le partisan de c pourra ensuite avoir lieu après que celui-ci ait reformulé le point de vue du partisan de b ou de a. L'appropriation nécessaire de ces différents points de vue, qui est différente d'une simple répétition, ouvre alors le référentiel individuel du partisan de c et l'application d'un raisonnement logique fait le reste, non sans force émotions et malaises liés à cette déstabilisation. Cependant presque tous arrivent en moins d'une heure à trouver évidente la solution a. Ce dernier stade est atteint quand ils comprennent les "bonnes raisons" qui les ont amenés à répondre c : sur notre planète pendant de nombreuses années, ils ont expérimenté directement l'existence conjointe d'une atmosphère et de la qualité pesante des objets, tellement conjointe que lorsqu'ils se sont construits le concept de pesanteur et celui de pression atmosphérique, ils ont continué à inférer que ces deux concepts faisaient référence à des réalités dépendantes, la présence de l'une entraînant la présence de l'autre et inversement l'absence de l'une, par exemple l'absence de pression atmosphérique entraîne obligatoirement l'absence de l'autre : la pesanteur. Dans cette situation, on s'aperçoit également que la personne qui n'a pas conscience du lien logique qu'elle a construit, va défendre ce lien de manière souvent "illogique". Par exemple, pour justifier que sur la lune "tout vole", elle va devoir faire référence au fait que *"l'on a dû lester avec du plomb les chaussures des cosmonautes lunaires pour éviter qu'ils ne s'envolent"* ou faire allusion au *"whisky du capitaine Haddock (4) qui flotte dans la cabine pressurisée de la fusée qui se trouve en micro gravité dans l'espace entre la terre et la lune"*. Cette tendance à vouloir conserver la stabilité du lien entre absence d'atmosphère et de pesanteur, traduit selon nous, une dépendance affective que toute déstabilisation cognitive met plus ou moins en évidence (Favre, 1997). Cependant, nous avons, également, rencontré lors de

prendre  
conscience  
de l'origine  
de l'inférence  
entre les  
concepts  
de pesanteur  
et de pression  
atmosphérique  
provoque  
beaucoup  
d'émotion

la tendance  
à vouloir maintenir  
cette inférence  
serait-elle l'indice  
d'une dépendance  
affective  
à la stabilité  
des connaissances ?

(4) cf. Hergé : *Objectif lune*

l'Université d'été - "Construire et entretenir la motivation" à Marseille en juillet 1995 (5) -, une vingtaine de formateurs d'enseignants disposés à poursuivre jusqu'à deux heures du matin la résolution de cette situation-problème dans les conditions du débat socio-cognitif que nous venons de décrire.

Des questions demeurent : comment expliquer que 111 (sur 233) enseignants et étudiants semblent ne pas avoir isolé le concept de vide de celui d'apesanteur. Le non-franchissement de cet obstacle est-il lié à la façon selon laquelle le cours sur le vol animal leur a été présenté lorsqu'ils étaient en classe de biologie ? Comment les 52 % d'entre eux qui ont franchi cet obstacle y sont parvenus, est-ce grâce aux dispositifs pédagogiques qu'ils ont ensuite rencontrés au cours de leur scolarité ou par leurs propres moyens ?

## **7. DES PROPOSITIONS POUR FAVORISER LE DÉPASSEMENT DES OBSTACLES**

### **7.1. Dans la construction des dispositifs d'apprentissage**

Ayant repéré l'obstacle constitué par des raisonnements plus ou moins implicites, le problème posé devient alors : comment en favoriser le franchissement par le plus grand nombre ? Ce franchissement supposait que les élèves puissent s'explicitier au préalable "leur théorie". Brousseau (1986) décrit le rôle de l'explicitation dans l'acquisition d'un concept. Dans les différentes situations qu'il définit (formulation, validation, institutionnalisation), il signale que les échanges d'informations entre élèves permettent à l'enfant de créer un modèle explicite.

Pour montrer que ce qu'il vient de dire est valable, il doit également en prouver l'exactitude et la pertinence. L'utilisation d'une situation qui s'apparente au "conflit socio-cognitif" décrit par Doise et Mugny (1981) présente, entre autres, l'avantage de permettre une décentration de l'apprenant par rapport à une connaissance préalable (Astolfi et Peterfalvi, 1993) afin qu'il puisse la concevoir comme une hypothèse parmi d'autres points de vue possibles, éventuellement trouver des contre-arguments pour la réfuter et ainsi, après s'être convaincu de ses insuffisances, l'abandonner. Il fallait donc que les élèves se familiarisent avec les attitudes cognitives de la démarche scientifique que nous avons modélisées comme un effort d'explicitation, une énonciation sous forme d'hypothèse, un établissement de la

permettre  
la décentration  
de l'apprenant  
par rapport  
à une  
connaissance  
préalable

(5) cf. compte-rendu de cette Université d'été édité en 1996 par Georges Chappaz et publié par l'Université de Provence et le Centre régional de Documentation de Marseille.

preuve par la recherche des contre-exemples et la précision du domaine de validité et enfin par une attitude réflexive qui prend en compte la subjectivité (Favre et Rancoule, 1993).

Une des relations que nous établirions entre nos résultats et les attitudes cognitives de la démarche scientifique concerne la possibilité qui a été donnée aux élèves, à travers les situations-problèmes posées, de se distancier du connu, de ce qui est admis, et d'abandonner un peu de la sécurité associée à leur "déjà-là". Ce changement pourrait se produire plus fréquemment, selon nous, en formulant des énoncés sous forme d'hypothèse plutôt que sous forme dogmatique. Par exemple, l'explication des élèves : *"la feuille de papier pliée en boule tombe plus vite que la feuille lâchée à plat parce qu'elle est plus lourde !"* pourrait être transformée ainsi (par l'enseignant sensibilisé à cette démarche) : *"tu vois qu'elle tombe plus vite, serait-elle devenue plus lourde ?"* La recherche des contre-évidences est, quant à elle, directement favorisée par le dispositif même si celle-ci peut prendre des formes un peu brutales, nous avons entendu ainsi dans un petit groupe un élève rétorquer à un autre : *"hé banane, on t'a dit qu'il n'y a pas d'air, on n'a pas dit que ça ne pesait rien !"*. Plus le groupe est actif, plus rapidement les élèves réalisent que l'air est matériel ou que le vide n'est pas synonyme d'apesanteur et ainsi peuvent surmonter ce dernier obstacle en distinguant ces deux concepts. Le climat affectif semble aussi important ; l'implication qu'il peut susciter, l'aspect ludique de la situation-problème, le fait d'être davantage acteur dans un petit groupe, de pouvoir constater que les remarques des copains permettent aussi de progresser, paraissent recruter de manière différente les ressources affectivo-émotionnelles des apprenants. D'après nos observations tout se passe comme si la résolution collective du problème devenait en soi une motivation qui diminue la fréquence des projections des élèves, les uns envers les autres et qui favorise ainsi la réflexivité dans la relation aux autres... et avec soi-même.

formuler  
les énoncés  
sous forme  
d'hypothèses  
plutôt que  
sous forme  
dogmatique

le débat  
socio-cognitif  
pourrait  
développer  
une nouvelle  
motivation  
plus favorable  
à l'apprentissage

## 7.2. Dans la formation des enseignants

Sans prétendre à une généralisation totale, notre étude incite à substituer une approche qualitative fondée sur l'étude, la reconnaissance et l'appropriation des concepts scientifiques par les apprenants à l'enseignement descriptif des connaissances. Cette appropriation, condition de leur transférabilité, deviendrait alors un objectif pédagogique à atteindre par l'enseignement.

approche  
pédagogique  
des concepts

Ce renversement de finalité pédagogique n'est cependant pas sans poser de difficultés dans la mesure où l'approche pédagogique des concepts suppose que les enseignants aient pu, au cours de leur formation, d'une part dépasser les représentations-obstacles qui s'opposent à leur appropriation et d'autre part, développer des compétences pour accompagner des élèves dans cette démarche. Si notre étude

pouvait servir de piste à une approche conceptuelle à visée pédagogique alors il faut en signaler ses différentes étapes afin qu'un apprentissage spécifique puisse avoir lieu lors de la formation des enseignants.

importance de  
la préparation de  
l'enseignement...

- Lors de la préparation d'un enseignement, on pourrait inciter l'enseignant à rechercher les concepts fondamentaux, à préciser les attributs ou les fonctions, à éventuellement franchir eux-mêmes des obstacles épistémologiques, à étudier la trame conceptuelle parfois interdisciplinaire et à s'appuyer sur les conceptions des élèves pour bâtir son cours. L'expérimentation du débat socio-cognitif comportant la reformulation de points de vue différents du sien nous paraît une expérience importante pour faire évoluer sa relation personnelle aux savoirs, se décentrer de la "solution ou du résultat à atteindre" et se centrer sur la démarche qui les a produits.

... du recueil des  
représentations...

- En situation d'enseignement, le travail de recherche des représentations des élèves devra précéder le cours à travers une évaluation-diagnostic par exemple. Un dispositif de remédiation pédagogique devient nécessaire seulement en cas de persistance des erreurs car celles-ci indiquent bien souvent la présence de représentations-obstacles.

... des problèmes  
non routiniers

- Cette étude contribue à montrer l'intérêt de faire davantage porter l'évaluation des connaissances scientifiques sur la capacité à résoudre des problèmes non routiniers impliquant la mobilisation du concept étudié plutôt que sur la simple restitution d'informations. Cela implique peut-être une modification des habitudes pédagogiques actuellement majoritaires et des valeurs à l'origine des critères d'évaluation (Favre, 1995).

## CONCLUSION

faire évoluer  
progressivement  
les concepts  
en modifiant  
leur domaine  
de validité

Un des intérêts de cette étude, c'est peut-être de montrer que, si on prend en compte le champ conceptuel, le contexte qui donne sens aux connaissances, on se donne des moyens pour dépasser d'éventuels obstacles. Le décloisonnement des connaissances pourrait ainsi s'avérer efficace. Mais si pour Bachelard l'acquisition des concepts scientifiques demande de "*renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne*", nous proposons de ne pas "brusquer" les élèves. Les conceptions étant dynamiques, il faut les faire évoluer progressivement en modifiant leur domaine de validité. Il ne s'agit pas de se focaliser sur les erreurs persistantes, les obstacles, mais simplement de les connaître pour imaginer les conditions de leur dépassement.

Pour faciliter ce "*turn over*" des représentations, nous invitons à dispenser aux enfants, dès leur plus jeune âge, une initiation à la démarche scientifique dans laquelle ils seraient entraînés à formuler des hypothèses et à considérer

les modèles proposés par l'enseignement comme approximatifs et provisoires. L'erreur ne serait alors plus complètement un échec, une faute mais un résultat. Si l'enfant prend l'habitude de modifier de proche en proche le champ de validité de ses connaissances, il lui sera plus facile de changer de représentation, au lieu de se sécuriser en cherchant à confirmer ce qu'il sait déjà.

Il reste maintenant l'épreuve de la réalité en prenant en compte un état de fait : la densité des programmes actuels. Quel est le coût horaire d'un dispositif tel qu'il a été appliqué ici ? Concrètement est-ce qu'une notion comme la surface portante mérite que l'on y consacre, dans le cadre du cours de biologie avec un programme assez chargé, deux ou trois heures, alors que l'enseignement sur le vol animal a disparu du programme ? Les modifications apportées ont en effet "consommé" trois heures d'enseignement tandis que la leçon sur le vol animal ne durait qu'une heure. Nous avons cependant tendance à penser que les élèves ont gagné au change car outre l'entraînement à un mode de pensée scientifique et à la communication avec autrui, transférable dans d'autres domaines, ils se sont préparé le terrain pour accueillir des concepts issus de disciplines différentes. Ils se sont également donné l'occasion d'unifier un peu plus leur référentiel individuel en constatant que le concept de surface portante peut s'appliquer à des domaines - l'industrie automobile, textile, le bâtiment, la voile, l'aviation - qui se présentent souvent, comme les disciplines scolaires, de manière morcelée.

Daniel FAVRE  
Isabelle VERSEILS  
Laboratoire de Modélisation de la  
Relation Pédagogique - Application à la  
Didactique de la Biologie  
Université Montpellier II

## BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.-P. et PETERFALVI B. (1993). "Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales", *Aster*, 16, Modèles pédagogiques 1, 103-141.
- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.
- BARTH B.-M. (1986). *L'apprentissage de l'abstraction*, Paris, Retz.
- BROUSSEAU G. (1986). "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques", *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7.
- CHARNAY R. et MANTE M. (1992). "De l'analyse de l'erreur en mathématiques aux dispositifs de re-médiation", *Repères IREM*, 7, 5-29.
- DOISE W. et MUGNY G. (1981). *Le développement social de l'intelligence*, Paris, InterÉditions.
- FAVRE D. (1993). "Approche neuro-pédagogique des lobes frontaux humain", *Les Sciences de l'Éducation*, 5-92, 23-44.
- FAVRE D. (1995). "Conception de l'erreur et rupture épistémologique", *Revue Française de Pédagogie*, 111, 85-94.
- FAVRE D. (1997). "Cerveau et Changement de représentation", *Cahiers Binet-Simon*, 650, 55-69.
- FAVRE D. et RANCOULE Y. (1993). "Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ?" *Aster*, 16, Modèles pédagogiques 1, 29-46.
- GIORDAN A. et DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- MANFREDI A., PIRO E. et PRIMAVERA G. (1989). "L'influence des aides didactiques sur la structuration du concept "air" à l'école primaire", *Actes des XI<sup>es</sup> JIES*, A. Giordan, J.-L. Martinand Éditeurs, 281-286.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*, Berne, Peter Lang.
- MIGNE J. (1969). "Les obstacles épistémologiques et la formation des concepts", *Éducation permanente*, 2, 41-63.
- PIAGET J. (1973). *Six études de psychologie*, Denoël & Gonthier.
- SÉRÉ M.-G. et Tiberghien A. (1989). "La formation des concepts décrivant les états de la matière", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 911-929.
- VERGNAUD G. (1990). "La théorie des champs conceptuels", *Recherche en didactique des mathématiques*, 10 (2.3), 133-170.